

Kooperationsnetz Nanotechnologie - Verkörperung eines neuen Innovationsregimes?

Biniok, Peter

Veröffentlichungsversion / Published Version
Arbeitspapier / working paper

Empfohlene Zitierung / Suggested Citation:

Biniok, P. (2005). *Kooperationsnetz Nanotechnologie - Verkörperung eines neuen Innovationsregimes?* (TUTS - Working Papers, 7-2005). Berlin: Technische Universität Berlin, Fak. VI Planen, Bauen, Umwelt, Institut für Soziologie Fachgebiet Techniksoziologie. <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0168-ssoar-11932>

Nutzungsbedingungen:

Dieser Text wird unter einer Basic Digital Peer Publishing-Lizenz zur Verfügung gestellt. Nähere Auskünfte zu den DiPP-Lizenzen finden Sie hier:
<http://www.dipp.nrw.de/lizenzen/dppl/service/dppl/>

Terms of use:

This document is made available under a Basic Digital Peer Publishing Licence. For more information see:
<http://www.dipp.nrw.de/lizenzen/dppl/service/dppl/>

Peter Biniok

**Kooperationsnetz Nanotechnologie -
Verkörperung eines neuen Innovationsregimes?**

Technical University Technology Studies
Working Papers

TUTS-WP-7-2005

Kooperationsnetz Nanotechnologie – Verkörperung eines neuen Innovationsregimes?

Peter Biniok

1. Einleitung

Wer kommt schon auf die Idee, dass die gesamte *Encyclopedia Britannica* auf einen Stecknadelkopf geschrieben werden könnte? Verwundert und erheitert ob solcher Gedanken wird manch einer mit dem Kopf schütteln, doch Ideen und Visionen sind stets Begleiter von neuen Technologien. Das 21. Jahrhundert kann, den gegenwärtigen Trend reflektierend, mit einer Hand voll neuer Technologien aufwarten. Zu diesen so genannten Schlüsseltechnologien zählen bspw. die Biotechnologie oder die Nanotechnologie. Den Schlüsseltechnologien wird das Potenzial zugesprochen, Lebensweisen spürbar zu verändern und, noch wichtiger, zu verbessern. Von ihnen wird erwartet, dass sie „Anstöße zu innovativen Entwicklungen in den verschiedensten technologischen Bereichen und gesellschaftlichen Anwendungsfeldern“ (Paschen u.a. 2003: 33) geben.¹

Aus Sicht eines Ingenieurs sind solche innovativen Entwicklungen bzw. Entwicklungstendenzen und die dazu notwendigen Modifikationen der gegenständlichen Welt für das Beispiel Nanotechnologie schnell aufgezählt: neue Oberflächenbeschichtungen führen zu kratzfreiem Lack oder beschlagsfreien Scheiben, Medikamente werden gezielt in erkrankte Regionen des Körpers transportiert und Alternativen zu Siliziumchips kennzeichnen den Übergang von der Mikro- zur Nanoelektronik. Doch die Thematik bietet auch Gründe, sich den Schlüsseltechnologien mit einem soziologischen Blick zu nähern. Denn Technik und Gesellschaft bedingen einander und so gehen technische und soziale Innovationen oft Hand in Hand, in jedem Fall aber zeichnen sich Interdependenzen zwischen technologischen Neuerungen und gesellschaftlichen Veränderungen ab. Derartige Veränderungen sollen jedoch nicht, wie vermutet werden könnte, mit einer Technikfolgenabschätzung bzw. Innovations- und Technikanalyse² der Verbesserungen und eventuellen Verschlechterungen im Zuge der Einführung und Etablierung neuer Technologien untersucht werden³. Sondern im Zentrum des Interesses und damit im Mittelpunkt dieses Papiers steht der allumfassende Rahmen, in dem Schlüsseltechnologien und Innovationen verortet sind. Das inkludiert Personen und Institutionen ebenso, wie Techniken und Handlungen. Allen neueren Ansätzen technologischen Wandels gemeinsam ist das Verwerfen ‚einfacher‘ „demand-pull“- oder „technology-push“-Theorien. Den technologischen Wandel beeinflusst stets ein Bündel aus ökonomischen, institutionellen und kulturellen Faktoren. Da dieses Bündel im konkreten Fall wiederum stets anders zusammengestellt ist, sich also über Zeit (Lauf der Geschichte; vgl. dazu Rammert 1997) und Raum (Länder, Regionen usw.; vgl. etwa Entwicklung der Windenergie in Dänemark und USA in Garud/Karnoe 2003) ändert, differiert auch die Art und Weise, wie Innovationen entstehen, beträchtlich.

1 In Paschen u.a. 2003 wird zwar einzig auf Nanotechnologie Bezug genommen, dennoch scheint die hier gemachte Verallgemeinerung plausibel.

2 Die Einführung des Begriffs Innovations- und Technikanalyse (ITA) ist eine vom Bundesministerium für Bildung und Forschung angeregte Substitution des – zumeist negativ behafteten – Begriffs Technikfolgenabschätzung (vgl. Malanowski 2001).

3 Zu dieser Thematik wird auf die Untersuchung in Paschen u.a. 2003 verwiesen.

Wenn also einerseits neue Schlüsseltechnologien das 21. Jahrhundert bestimmen und andererseits stetige Veränderungen von Innovationsverläufen zu verzeichnen sind, so wird eine interessante Frage aufgeworfen: Kann die Charakterisierung von Schlüsseltechnologien des 21. Jahrhunderts genutzt werden, um eine neue Art und Weise im Umgang mit Innovationen nachzuweisen? Diese Frage positiv beantwortet führt zu der Annahme, dass es einen Zusammenhang zwischen neuen Technologien und Innovationspraxis gibt und dass neue Technologien auch von neuen Methoden und Verfahren hinsichtlich der Zusammenarbeit und des Wissensaustausches der beteiligten Akteure begleitet werden. Von Interesse sind in diesem Zusammenhang Veränderungen über die Zeit, nicht über den Raum hinweg. Als zu untersuchende Schlüsseltechnologie scheint das Gebiet Nanotechnologie in Deutschland aus drei Gründen geeignet zu sein. Erstens ist Deutschland auf dem Gebiet der Nanotechnologie leistungs- und konkurrenzfähig. Unter forschungsrelevanten Kriterien gehört, laut einer Untersuchung des Büros für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB), Deutschland derzeit hinter den USA und Japan zu den publikationsstärksten Akteuren im Bereich Nanotechnologie (vgl. dazu Paschen u.a. 2003: 67ff.). Bei den Patentanmeldungen liegt Deutschland sogar auf Platz zwei hinter den USA (vgl. Ebenda). Bei der Förderung der Nanotechnologie durch öffentliche Gelder liegt Deutschland wiederum auf dem dritten Platz hinter den USA und Japan. Zweitens ist das Thema Nanotechnologie aus der hier eingenommenen soziologischen Perspektive noch nicht in aller Ausführlichkeit analysiert worden und drittens ist in Deutschland die Entstehung einer interessanten Konstellation von Akteuren um den Gegenstand Nanotechnologie zu verzeichnen. Diese Konstellation tritt mit dem Namen „Kompetenznetz“ an die Öffentlichkeit und besteht (stark vereinfacht) aus neun Kompetenzzentren, die das Rückgrat der später beschriebenen Struktur bilden und wiederum mit verschiedenen Organisationen in Verbindung stehen. Dieser Zusammenschluss zu einer Netzwerkstruktur beruht hauptsächlich auf der erhofften gesteigerten Innovationsfähigkeit der Akteure bzw. des Netzes. Daher ist es ein naheliegender Gedanke, diese Struktur als Innovationsnetzwerk zu bezeichnen. Diesen Schritt zu begründen, soll das vorliegende Papier leisten.

Für das weitere Vorgehen stellt sich konkret die Frage: Ist das „Kompetenznetz“ Nanotechnologie in Deutschland dadurch gekennzeichnet, dass Innovationen in einem Netzwerk entstehen? Aufbauend auf theoretischen Grundlagen und Modellen von Powell, Rammert und Weyer soll gezeigt werden, dass bei dem ‚Projekt‘ Nanotechnologie die Netzwerkorganisation als dominanter Koordinationsmechanismus (in Kontrast zu Markt und Hierarchie) vorherrscht und gerade das Netzwerk die Potenziale technischer Innovationsfähigkeit birgt. Bevor dies geschehen kann, ist es jedoch unerlässlich, darzustellen, dass Nanotechnologie (Kapitel 2) tatsächlich eine Technologie ist und worin die Innovativität von Nanotechnologie liegt (Kapitel 3). Anschließend (Kapitel 4) gilt es, die Idee des Netzwerks vorzustellen und Innovation und Netzwerk gewinnbringend aufeinander zu beziehen. Der Hauptteil des Papiers (Kapitel 5) beschäftigt sich mit der Diskussion, ob es sich bei den Kooperationen um Nanotechnologie in Deutschland um eine Form eines neuen Innovationsregimes handelt – das Innovationsnetzwerk. Unter diesem Gesichtspunkt wird das „Kompetenznetz“ Nanotechnologie allgemein und das Kompetenzzentrum Nanotechnologie in der Optoelektronik (NanOp) an der Technischen Universität Berlin (TUB) speziell und stellvertretend für andere Kompetenzzentren vorgestellt. Abschließend wird dann die soeben formulierte Frage nach dem Einfluss der Netzwerkstruktur aufgegriffen (Kapitel 7) und es werden schließlich die Ergebnisse der Analyse zusammengefasst (Kapitel 8).

2. Nanotechnologie

Wenn eine Enzyklopädie auf einem Stecknadelkopf verewigt werden würde, so geschähe diese Arbeit in einem Größenbereich, der sich der Vorstellungskraft des Menschen entzieht, nämlich im Nanometerbereich oder auch im „Zwergenmaßstab“⁴, wie ihn Stix (2001) in seinem Artikel „Geschäfte im Reich der Zwerge“ nennt. Ein Nanometer ist ein Millionstel Millimeter, etwas anschaulicher: ein Millionstel eines Stecknadelkopfes.

Viel weniger Platz als für ein Lexikon würde für die Geschichte der Nanotechnologie – der Technologie, welche erst im Jahr 1974 von Norio Taniguchi auf diesen Namen getauft wurde – benötigt werden. In der Literatur, die sich mit den entscheidenden Ereignissen zur Genesis von Nanotechnologie beschäftigt⁵, wird meist im Jahr 400 v. Chr. begonnen, als Demokrit den Begriff „Atom“ prägte. In jüngerer Vergangenheit entwickelten Max Knoll und Ernst Ruska 1931 das Elektronenmikroskop, mit dem Objekte kleiner als ein Nanometer abbildbar wurden. 1959 hielt Richard Feynman seinen berühmten Vortrag über die Ausichten der Miniaturisierung, der unter dem Namen „*There's Plenty of Room at the Bottom*“⁶ in die Geschichte einging. Und genau Feynman war es auch, der auf die Idee kam, die *Encyclopedia Britannica* auf einen Stecknadelkopf zu schreiben. 1981 bauten Gerd Binnig und Heinrich Rohrer das Rastertunnelmikroskop (RTM), das einzelne Atome abbilden und bewegen kann. 1989 wurden mit einem derartigen Gerät von Donald M. Eigler (Xenon-)Atome gezielt auf einer Oberfläche verschoben und so das Wort IBM ‚geschrieben‘. 1986 veröffentlichte K. Eric Drexler sein futuristisches Buch „*Engines of Creation*“, welches die Nanotechnologie populär machte.

Popularität einer Wissenschaft bzw. einer wissenschaftlichen Disziplin begünstigt stets die Anziehungskraft derselben und so scheint es, dass unter dem Begriff Nanotechnologie jede wissenschaftliche Disziplin, sei es Biologie, Chemie oder Physik, subsumiert werden kann, die in irgendeiner Art und Weise im Größenbereich von Nanometern arbeitet und forscht. Mit Blick auf Fördergelder etc. ist es ohnehin lukrativ, ‚Nano-Wissenschaftler‘ zu sein und seinen Forschungsbereich mit dem Nano-Etikett zu versehen. Dieses Manko der zweifelhaften Zuordnung, welches nicht nur für Nanotechnologie gilt, ist gerade kein Manko, denn das Zusammentreffen verschiedener Disziplinen und Denkgerüste im Nanokosmos macht den ihr eigenen Charakter der neuen Technologie aus. „Am Anfang stand weder eine Idee, wie etwa die Rechenmaschine, die die Informationstechnologie begründete, noch ein konkretes Produkt wie das Auto, um das herum eine ganze Industrie entstand. Es waren viele verschiedene Erfindungen und wissenschaftliche Entdeckungen im 20. Jahrhundert, die sich jetzt immer rasanter zu etwas ganz Neuem zusammenfügen [...]“. (Boeing 2004: 28)

Fest steht, dass das Feld Nanotechnologie „nicht einfach eine Fortsetzung der Mikrotechnik darstellt, sondern eine interdisziplinäre Integration physikalischer Gesetze, chemischer Stoffeigenschaften und biologischer Prinzipien anstrebt [...]“ (Bachmann 2004, Hervorhebung durch den Autor). Die Multidisziplinarität der Anwendungen von Nanotechnologie und ihr hybrider Ursprung sind in Abbildung 1 (aus Paschen u.a. 2003: 42 und ähnlich in Bachmann 1998: 7) dargestellt. Dass es „Nano“ und die Idee von „Nano“ schon vor Nanotechnologie, also dem eigentlichen Nano-Boom gab, ist unbestritten. Doch erst jetzt wurde eine systematische Anwendung und die Umsetzung in Produkte angegangen.

4 Nanus (lat.) heißt der Zwerg.

5 Verwiesen sei hier auf Ilfrisch 2003, Stix 2001 oder den Zeitstrahl in Boeing 2004.

6 Etwa: Unten gibt es noch viel Platz.

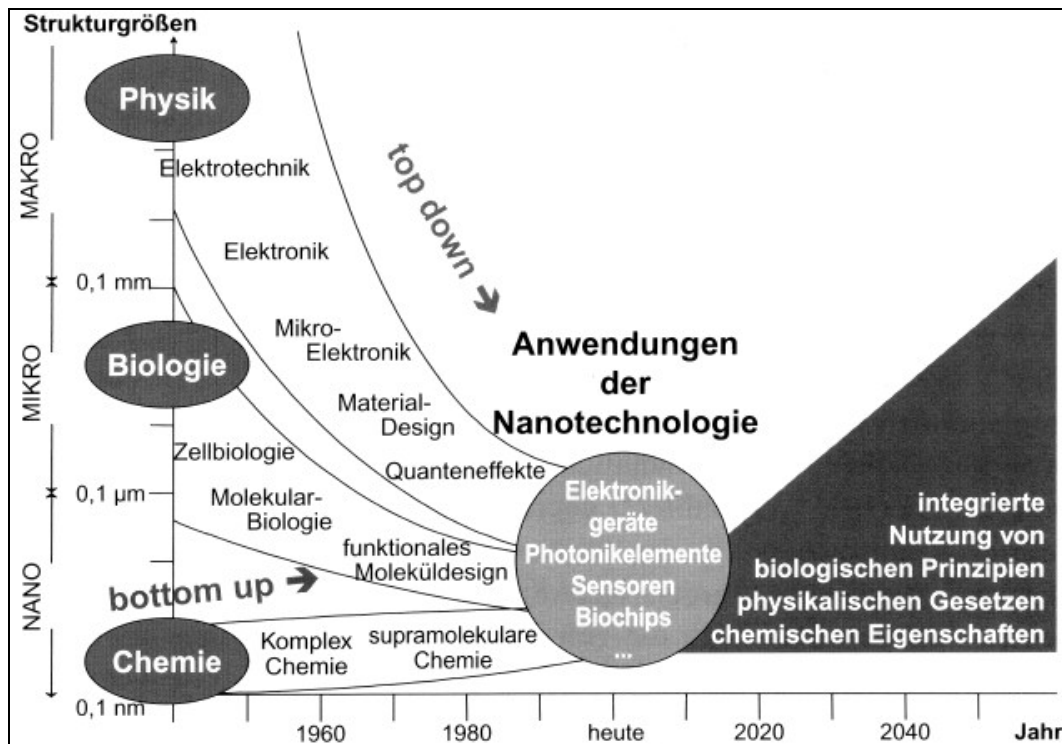


Abbildung 1: Annäherung an Nano

Was sich nun genau hinter Nano und Nanotechnologie verbirgt, darüber besteht heutzutage wenig Einigkeit. Vieles, was als Nanotechnologie bezeichnet wird, ist nur Arbeit im Mikrometermaßstab und manches ist gar keine Technologie, sondern Grundlagenforschung über Strukturen zwischen einem und einigen hundert Nanometern (vgl. Stix 2001: 8). Eine Definition von Mihail C. Roco von der *National Science Foundation* besagt, dass sich das jetzt aufkommende Gebiet mit Materialien und Strukturen beschäftigt, die folgende Eigenschaften aufweisen:

- „sie messen in mindestens einer Dimension zwischen einem und hundert Nanometer;
- sie werden durch Prozesse erzeugt, durch die man die physikalischen und chemischen Eigenschaften von Strukturen molekularer Größe kontrollieren kann;
- sie lassen sich zu größeren Gebilden zusammensetzen.“ (Stix 2001: 9)

Pragmatisch gesehen ist Nanotechnologie also die Gesamtheit aller technischen Verfahren, die Materialstrukturen von unter 100 Nanometern Ausdehnung nutzen oder herstellen (vgl. Boeing 2004: 28). Per Definition müssen Strukturen, um sie zu den Nanostrukturen zählen zu können, in mindestens einer Dimension den Nanometerbereich einhalten. Nanostrukturen können auch in zwei oder allen drei Dimensionen dem Nano-Kriterium Länge – oder besser Kürze – entsprechen. Je nachdem handelt es sich dann um Schichtstrukturen (eine Dimension), Nanoröhren u.ä. (zwei Dimensionen) oder Nanokristalle etc. (drei Dimensionen).

Es bleibt festzuhalten, dass sich das Feld der Nanotechnologie mit der Veränderung von Strukturen auf der Ebene von Atomen und Molekülen beschäftigt. Einzelne Atome oder Moleküle können dabei mit den geeigneten Werkzeugen (wie z.B. Rastertunnelmikroskopen) und Verfahren entfernt, hinzugefügt und verschoben werden. Die Resultate sind unterschiedlichen Anwendungsfeldern zuzuordnen (vgl. Paschen u.a. 2003: 88ff.). Ein Anwendungsfeld, das Materialoberflächen zum Gegenstand hat, ist die Bildung von Strukturen mit (kontrolliert) veränderten Eigenschaften, wie bspw. kratzfestes Glas, schmutzabweisende

Oberflächen oder beschlagsfreie Autoscheiben. Ein zweites Feld ist die Informationsverarbeitung, in dem nach Lösungen für effizientere Speichermedien und nanoskaligen Bauelementen gesucht wird (Moore'sches Gesetz). Ein weiteres Anwendungsfeld sind die Lebenswissenschaften mit neuen medizinischen Entwicklungen (siehe auch Alivisatos 2001: 56ff.). Außerdem wird die Verwendung von Nano-Produkten in den Feldern Rüstung (z.B. Panzerung oder unbemannte Trägersysteme), Katalyse (z.B. Autoabgaskatalysatoren) und Energieumwandlung und -nutzung (z.B. Solarzellen oder Brennstoffzellen) angestrebt. Das besondere an Nanotechnologie ist, dass bei der Herstellung und Manipulation von Nanostrukturen die Nanometerskala einen Grenzbereich kennzeichnet, „in dem das Verhalten von Materie nicht mehr nur mit den Gesetzen der klassischen Physik beschrieben werden kann, sondern in dem mehr und mehr quantenphysikalische Effekte eine wichtige Rolle spielen“ (Paschen u.a. 2003: 37, Hervorhebung weggelassen). Je weiter die Forscher in die Nanowelt eintauchen, umso mehr werden sie mit neuartigen und unerwarteten Phänomenen konfrontiert. Genau diese Phänomene sind es, von denen die Nanotechnologie profitiert und in denen das Potenzial der neuen Technologie steckt.

Die bereits erzielten Fortschritte sind vor allem mit einer der beiden denkbaren Methoden der Herstellung von Nanostrukturen erreicht worden – dem Top-Down-Prinzip. Die andere bislang eher mit futuristischen Ideen und Phantasien verbundene, aber dennoch bereits genutzte Möglichkeit ist der Bottom-Up-Ansatz (zu den beiden Strategien und deren Herkunft siehe auch Abbildung 1). Die Top-Down-Praktik wurde in diesem Kapitel bereits beschrieben; es handelt sich um das Entfernen oder Anlagern von Atomen oder Molekülen von bzw. an andere atomare Strukturen mit Hilfe geeigneter Werkzeuge. Das Top-Down-Prinzip wird bspw. in der Nanoelektronik (der weiterentwickelten Mikroelektronik) und zur Herstellung von Nanoschichten und Nanopartikeln genutzt (vgl. Schulenburg 2003).

Im Gegensatz dazu nutzt der Bottom-Up-Ansatz die Fähigkeit der Atome und Moleküle, durch Selbstorganisation spontan geordnete Strukturen auszubilden. Mit dieser Praktik, auch Wachstum oder Epitaxie genannt, werden Nanoröhren und Quantenpunkte hergestellt. Dies ist die realistische Seite des Bottom-Up-Verfahrens. Diesen Ansatz – und nun folgt die utopische Seite – zu Ende gedacht (vgl. Drexler 1986), wäre es möglich, mit molekularen Maschinen molekulare Bausteine zu Produkten zusammenzusetzen. Diese molekularen Maschinen, genannt *assembler*, können sich selbst reproduzieren, größere *assembler* erbauen und so jedes beliebige Produkt herstellen.⁷ Auf die Realisierbarkeit dieser Idee bezogen sind zahlreiche Kritiken laut geworden, die sich bspw. auf die enorme Dauer zur Herstellung eines Produkts, auf die (widerstreitenden) Energien der Atome und auf die Probleme mit den Manipulator-Armen der *assembler* („dicke und klebrige Finger“) beziehen (vgl. Smalley 2001). Und so gibt es, wie bei vielen wissenschaftlichen Themen, hinsichtlich dieser Herstellungsmethode zwei Antagonisten: Auf der einen Seite stehen diejenigen, die *assembler* für realisierbar halten und auf der anderen Seite diejenigen, für die jegliches Befassen mit dem Thema Zeitverschwendung ist. Interessanterweise ist die Gruppe derer, die *assembler* für möglich hält, in sich nicht homogen, sondern teilt sich in Gegner, welche vor den Gefahren (bspw. durch Nanopartikel) und Risiken warnen und einen Stop der Forschung fordern (vgl. Joy 2000) und Befürworter, die positive Effekte, Sicherheitsvorkehrungen und richtigen Umgang mit der Technologie entgegenhalten (vgl. Drexler 2001 und Schirmacher 2001).

7 Ein derartiges Szenario bieten die Nanopartikel in Crichtons „Beute“ und, in etwas veränderter (da früherer) Form, die „Noozyten“ von Bear in „Blutmusik“.

3. Nanotechnologie, Technologie und Innovation

Der Diskurs über Potenziale und Gefahren neuer Technologien, in diesem Fall der Nanotechnologie, schließt eine Setzung ein, dass nämlich Nanotechnologie eine Technologie ist oder zumindest ein Feld kennzeichnet, welches Technologien beinhaltet. Dies ist einer der Punkte, die im Folgenden erläutert werden sollen. Der zweite Punkt betrifft die Beschreibung von Nanotechnologie als Innovation. Denn wenn sich eine neue Technologie herausbildet, so wird das Neue einer näheren Analyse unterworfen. Zwei Aspekte stehen dabei im Vordergrund: das Neue an dem Neuen und inwiefern das Neue Neues hervorbringt.

3.1 Nanotechnologie als Technologie

Wie schon im vorstehenden Kapitel dargelegt, ist es schwierig, eine einheitliche Definition für Nanotechnologie zu finden. Und mindestens genauso unklar ist, was an Nanotechnologie als Technologie bezeichnet werden kann. In der soziologischen Diskussion ist keine einheitliche Definition von Technologie gegeben, die ohne weiteres auf Nanotechnologie anzuwenden wäre. Die Beschäftigung mit den Begriffen Technik und Technologie reicht weit in die wissenschaftliche Geschichte zurück und es soll kein Anliegen dieses Kapitels sein, die Geschichte des Technikbegriffs wiederzugeben. Stattdessen soll, wie schon angekündigt, in kurzer und prägnanter Form gezeigt werden, dass zu Recht von Nanotechnologie gesprochen werden kann und dieser Begriff tatsächlich auf eine Technologie verweist.

Zu heutiger Zeit scheint es, dass die Differenz zwischen Technik und Technologie irrelevant geworden ist. Die ursprüngliche Bedeutung von Technologie ist die Lehre und das systematisierte Wissen von Technik (vgl. dazu Rammert 2000: 41 oder Endruweit 1999: 364). Aber diese ursprüngliche Bedeutung bezieht sich auf andere Techniken als jene Schlüsseltechnologie, die im Mittelpunkt der Betrachtung steht. Daher trägt eine Aufhebung der genannten Differenz „dem veränderten Charakter moderner Techniken (Computertechnik; Gentechnik) Rechnung. Bei solchen Hochtechnologien sind die Erzeugung wissenschaftlichen Wissens und die Herstellung technischer Instrumente eng aufeinander bezogen“ (Rammert 2000: 42). Insofern stehen die Begriffe Nanotechnologie und Nanotechnik vorerst synonym für ein und denselben Gegenstand. Eine Definition von Technik, die wichtige soziologische Aspekte von Technik berücksichtigt und gewinnbringend auf Nanotechnologie bezogen werden kann, stammt – in Ableitung von Voltis Bestimmung von Technik – von Nina Degele: „Ein soziologischer Technikbegriff operiert [...] dreistrahlig, indem er erstens den Aspekt der Materialität, zweitens der Handlung und drittens des Wissens berücksichtigt.“ (Degele 2002: 19). Mit anderen Worten ist Technik ein Artefakt, manifestiert sich in Formen des Handelns und bedeutet auch immer eine bestimmte Form von Wissen (vgl. Dies.: 19/20).⁸ Degeles Standpunkt steht fest: Eine klare Trennung von Technik und Technologie ist ihrer Meinung nach „weitgehend belanglos geworden“ (Dies.: 20). Darin stimmt sie u.a. mit Bijker überein, welcher *technology* ebenfalls mit drei unterschiedlichen Bedeutungen (*physical artifacts*, *human activities* und *knowledge*) in Verbindung bringt und dabei auf die traditionelle Unterscheidung zwischen *technique*, *technics* und *technology* verzichtet (vgl. Bijker 1995: 231). Und auch Dosi spricht in Bezug auf *technology* von „a set of pieces of knowledge, [...] know-how, methods, procedures, experience of successes and failures and also, physical devices and equipment“ (Dosi 1982: 152), d.h. von Artefakten, Wissen und implizit auch Handlungen. Die vorstehende Argu-

8 Der dritte Punkt erweist sich hierbei, worauf Degele auch hinweist, als die ursprüngliche Bedeutung von Technologie.

mentation soll ausreichen, um den Technikbegriff von Degele auf Nanotechnologie anwenden zu können. Nanotechnologie ist genau dann eine Technologie, wenn die drei Aspekte (Artefakt, Handlung, Wissen) des o.g. Technikbegriffs nachgewiesen werden. In Bezug darauf lässt sich Folgendes zeigen:

- Bei den Methoden und Verfahren der Nanotechnologie werden technische Artefakte (u. a. Rastertunnel- und Rasterkraftmikroskope) genutzt und sind integraler Bestandteil von Nanotechnologie.
- Hinsichtlich menschlicher Handlungen zeigt sich bspw. eine erhöhte interdisziplinäre Zusammenarbeit, die dem medialen Charakter der Technik Rechnung trägt. Weiterhin ist jede Verwendung der Artefakte Handlung, die soziale Handlungszusammenhänge beeinflusst und verändert.
- Der Wissenskorpus für Nanotechnologie besteht einerseits aus vorhandenem Wissen über Mikroelektronik, Molekularbiologie, Quantenmechanik usw. Andererseits wird ausschließliches ‚Nano-Wissen‘ produziert. Der Wissenskorpus von Nanotechnologie besteht demnach aus Wissen, welches sich aus reinem ‚Nano-Wissen‘ und Schnittmen-genwissen zu anderen Disziplinen⁹ generiert.

Nanotechnologie ist demzufolge eine Technologie und kann als Technologie oder Technik bezeichnet werden. Jedoch wird der Begriff Nanotechnologie in der breiten Öffentlichkeit und der wissenschaftlichen Literatur eher als Bezeichnung für das Technologiefeld Nanotechnologie genutzt. Um in dieser Arbeit also eine Begriffsverwirrung zu vermeiden, wird i. F. der Begriff Nanotechnik zur Beschreibung der Technologie genutzt und der Begriff Nanotechnologie zur Kennzeichnung des Technologiefeldes.

Tabelle 1: Nano + Technologie

Technik	Nanotechnik
Artefakt	Rastertunnel- und Rasterkraftmikroskope
Handeln	Manipulation atomarer Strukturen, interdisziplinäre Zusammenarbeit
Wissen	Eigener Wissenskorpus aus ‚altem‘ naturwissenschaftlichen Wissen und neuen Erkenntnissen

Da Nanotechnik dem dreistrahligen Technikbegriff genügt, was in Tabelle 1 noch einmal deutlich wird, ist es meiner Meinung nach gerechtfertigt, bei diesem ‚Schlüssel‘, der die Tür zu neuen und besseren Produkten öffnet, von der Nanotechnik zu sprechen. Diese Nanotechnik ist dann Teil der Nanotechnologie, die richtigerweise keine ‚echte‘ Technologie, sondern ein Feld ist.

3.2 Nanotechnologie als Innovation

Die Verwendung des Begriffs Innovation bezieht sich oft auf technologische Innovationen und geht einher mit einer Referenz auf Schumpeter oder auch Marx. Der „Prozess der schöpferischen Zerstörung“ (vgl. Schumpeter 1972), der durch Verdrängung zu neuen und qualitativ besseren Produktionsverfahren, Waren etc. führt, findet statt, weil es den schöpferischen Unternehmer gibt. Dieser handelt innovativ und setzt Innovationen durch, in deren Folge es Anschlussinnovationen geben kann. Anhand der Fälle, in denen es zu einer Durchsetzung neuer Kombinationen kommen kann (bspw. Herstellung neuer Produkte oder Er-

⁹ Damit soll keine Festlegung erfolgen, dass Nanotechnologie eine Disziplin ist. Die Diskussion dieses Themas von Einzelwissenschaften und Wissenschaftszweigen soll auch im Weiteren keine Rolle spielen, da daraus für die gegebene Fragestellung kein Nutzen erzielt wird.

schließung neuer Märkte) wird deutlich, dass es sich um einen technisch-ökonomischen Innovationsgedanken handelt. Abgesehen von derartigen technologischen Innovationen sind weitere Arten der Innovation in der wissenschaftlichen Diskussion präsent, wie bspw. soziale Innovationen (vg. Zapf 1989). Brooks hat eine umfassende Klassifikation von Innovationstypen entworfen, die neben technischen auch soziale und sozio-technische Innovationen enthält. „*The types are pure social inventions and innovations, sociotechnical system inventions and innovations, and pure technical innovations.*“ (Brooks 1982: 9) Soziale Innovationen werden nach Brooks in Markt-Innovationen, Management-Innovationen, politische und institutionelle Innovationen aufgegliedert (vgl. Ders.: 13ff.). Im Kern beziehen sich diese Innovationen nicht auf technische Artefakte, sondern auf Struktur und Organisation von Handlungszusammenhängen (Bsp. Einführung von Fließbandarbeit in einen Betrieb). Die Beschreibung von sozio-technischen System-Innovationen zielt darauf ab, dass es sich um „*cluster of innovations, often accumulated around a single central artifact*“ (Ders.: 10) handelt und „*these artifacts have little or no social value without a large system of ancillary technologies and social inventions and innovations*“ (Ebenda). Ein Beispiel für ein solches Artefakt ist das Auto – ohne ein umfassendes System, bestehend aus Infrastruktur, Tankstellen, Verkehrsregeln etc. wäre es (fast) nutzlos. Die dritte von Brooks klassifizierte Form der Innovation, die technische Innovation, unterscheidet sich von der ‚klassischen‘ Form Schumpeters insofern, als dass Brooks nicht explizit Markterfolg voraussetzt, damit aus der Erfindung eine Innovation wird.

Wenn in diesem Papier von Innovation gesprochen wird, so wird damit erstens (in Anlehnung an die Unterscheidung von Erfindung und Innovation) eine Realisation in der Praxis angenommen. Damit soll aber nicht ein Prototyp o.ä. gemeint sein, sondern eine genutzte Technik oder ein angewandtes Verfahren. Zweitens erfolgt eine Unterscheidung von technischen, technologischen und sozialen Innovationen. Interessant für das Thema sind dabei vor allem die technischen Innovationen nach Brooks, welche – im Gegensatz zur inkrementellen Form – vom radikalen Typ (vgl. Hughes 1982) sind. Aber auch von technologischen Innovationen (nach Schumpeter), die Einzug auf dem Markt halten, wird die Rede sein. Für den Fall von Nanotechnik sind radikale, unterschiedlich zu gewichtende, technische Innovationen identifizierbar (siehe Degeles Technikbegriff). Das betrifft die Erfindung des Rastertunnelmikroskops und die damit verbundene Möglichkeit der Manipulation atomarer Strukturen sowie die Generierung des neuen Wissenskorpas (vgl. dazu und im Folgenden Tabelle 2).¹⁰ Die Innovationen sind nicht aus sozialer Not heraus oder aufgrund eines Marktbedarfs entstanden, sondern in der wissenschaftlichen Forschung. Beides wirkt sich auf Technik als Wissen aus, denn ein neuer Wissensbestand wird produziert. Und wie in P.M. ergänzend zu lesen ist: „«Das hat», so Nobelpreisträger Gerd Binnig [...], «die Denkweise verändert und eine neue Kultur geschaffen.»“, (Scheppach 2002).

Der Gedanke und (technische) Kern des Gebiets Nanotechnologie ist also innovativ; doch noch ein weiterer Zug an Nanotechnologie trägt die Idee von Innovativität. Nanotechnik wird auch als „*enabling technology*“ bezeichnet, da sie aufgrund der Herstellung neuartiger Effekte und Materialeigenschaften Innovationen erst bewirkt (vgl. Paschen u.a. 2003: 38). An dieser Stelle wird der Schluss möglich, dass Nanotechnik einerseits eine Innovation ist und andererseits zu weiteren Innovationen führt. Die Produkte, die dabei entstehen sind (Produkt-)Innovationen als Resultat der Nanotechnik. Dies verdeutlicht den in der Literatur

¹⁰ Nanotechnik kann natürlich nicht auf das RTM und den Umgang mit selbigem reduziert werden, denn wie in Kapitel 2 dargestellt, gehören bspw. das Bottom-Up-Prinzip und andere technische Geräte, die zur Herstellung nano-skaliger Strukturen dienen, ebenso dazu. Die Reduktion an dieser Stelle verdeutlicht aber sehr schön den Innovationsgedanken.

gemachten Unterschied zwischen (radikalen) Basisinnovationen und (eher inkrementellen) Folgeinnovationen.

Tabelle 2: Nano + Innovation

Innovation	Nanotechnologie
Technisch	RTM, Manipulation atomarer Strukturen, Wissenskorporus
Technologisch	Produkte der Nanotechnologie
sozial	Netzwerk als Organisationsform

Bei der Beschäftigung mit technischen und technologischen Innovationen sollten aber soziale Innovationen nicht übersehen werden (vgl. Zusammenfassung zu Nanotechnologie und Innovation in Tabelle 2). Netzwerke, wie sie im Feld Nanotechnologie zu finden sind, können nämlich „selbst vielfach als innovative Formen der Strukturbildung interpretiert werden“ (Krücken/Meier 2003: 79). Diese sind dann soziale Innovationen im Sinne von veränderten Organisationsstrukturen, die der Hervorbringung von technischen Innovationen dienen (vgl. Ebenda). Dieser Punkt soll im folgenden Kapitel ausführlicher aufgegriffen werden.

4 Technologischer Wandel und Netzwerke

Der soziale Wandel einer Gesellschaft als Aufeinanderfolge von Zuständen, die umso jünger auch wertmäßig höher stehen, wird in bestimmten Denktraditionen als Gesetzmäßigkeit angesehen. Der Wandel – in diesem Zusammenhang eigentlich Fortschritt – wird mit einer fortwährenden Höherentwicklung gleichgesetzt. Wandel kann aber auch wertfrei als bspw. Anpassung an die Umwelt, Rationalisierung oder Differenzierung und Individualisierung definiert werden. So ist die Entwicklung der modernen Gesellschaft durch u.a. starke Rationalisierung und Differenzierung gekennzeichnet.

Aus soziologischer Perspektive begründet sich sozialer Wandel verschiedentlich in strukturellen Veränderungen oder im Handeln. Strukturelle Veränderungen, wie Differenzierung, wirken störend auf das systemische Gleichgewicht und rufen einerseits re-integrierende Mechanismen hervor, die das Gleichgewicht wieder herstellen (Parsons, Luhmann). Andererseits gibt es die Behauptung, dass die Störungen oder auch strukturellen Spannungen nur durch eine umfassende Änderung bspw. in Form einer Revolution, beseitigt werden können (Marx). Die Betrachtung von Wandel durch Handeln bringt das Individuum zurück in den Blickpunkt. Hierbei wird auf den Zusammenhang und die wechselseitige Beeinflussung von Handeln und Struktur fokussiert (Giddens).

So verhält es sich im speziellen Fall auch mit technischer Entwicklung (in dieser Arbeit mit technologischem Wandel gleichgesetzt), deren Grundlage innovatorisches Handeln – des schöpferischen Unternehmers – ist (vgl. auch Rammert 1993: 67ff.). Innovatorisches Handeln und Innovationen geraten umso mehr in den Blickpunkt techniksoziologischer Forschung, als dass speziell durch die Technikgeneseforschung nach den bestimmenden Faktoren für den gesamten Entwicklungsprozess von Technik oder für einzelne Phasen der Entstehung von Technik gefragt wird (vgl. Rammert 1993: 19ff. oder Degele 2002: 46ff.). Allgemein kann technologischer Wandel durch schrittweisen Fortschritt oder Revolution¹¹ vonstatten gehen oder, anders ausgedrückt, durch inkrementelle oder radikale Innovationen. Eine radikale Innovation ist bspw. die Erfindung des Rades, während die anhaltende Ver-

¹¹ Jeweils im Sinne von Verbesserung.

besserung des Rades (Material, Nabe und Speichen, Pneu etc.) mit inkrementellem Fortschritt zu beschreiben ist. Es ist intuitiv, dass radikale Veränderungen spontan und oft zufällig geschehen, während inkrementeller Fortschritt eher geplant und gezielt erreicht werden kann. Die Innovationsforschung hält jenseits der Modelle der Induktion durch Technik und der Nachfrageorientierung verschiedene Alternativen bereit, die sich mit technologischem Wandel und Innovationen beschäftigen (vgl. etwa Tushman/Rosenkopf 1992, Van de Ven/Garud 1994, Constant II 1987, Lundvall 1992, Hage 2003). „Sie allesamt gehen davon aus, dass sich technische Entwicklung allgemein und Innovationen speziell nicht linear durchsetzen. Stattdessen sind sie durch zahlreiche Rückkopplungsschleifen, Iterationen und Überschneidungen gekennzeichnet.“ (Degele 2002: 67)

Dem angesprochenen Wandel der Art und Weise von Innovationsfindung und Innovationsentstehung liegt eine strukturelle Wandlung der Gesellschaft zugrunde. Als logische Konsequenz einer zeitlichen Folge von Vormoderne und Moderne zeigen viele Publikationen, dass sich (spätestens) die Gesellschaft des 21. Jahrhunderts in einer Epoche nach der modernen Gesellschaft befindet. Bezeichnenderweise kann diese Epoche, um nur einige Benennungen wiederzugeben, als „Postmoderne“ (Baumann 1995, 1999) oder „beschleunigte Gesellschaft“ (Glotz 2001) oder „reflexive Modernisierung“ (Beck 1996) benannt werden. Obwohl prägnante Differenzen zwischen diesen Konzepten der Nach-Moderne bestehen¹², können sie im Tenor, wie folgt, auf einen Nenner gebracht werden. Zusätzlich zu den ‚modernen‘ Prozessen der Individualisierung und Differenzierung kommt es zunehmend zu Tendenzen der Dematerialisierung, Beschleunigung, Dezentralisierung und Globalisierung (Glotz 2001: 92ff.). Weiterhin deuten Schlagworte wie Freiheit, Verschiedenheit, Toleranz (Baumann 1995) auf eine zunehmende Kontingenz und Ambivalenz und damit einhergehende Unsicherheit hin. Die Unsicherheiten schlagen sich bspw. als „*circle of uncertainties*“ (vgl. Rammert 2001: 4f.) direkt in den Innovationsprozessen nieder. Diese groben ‚Zeichen der Zeit‘ haben weitere konkrete Auswirkungen auf Innovationen und Innovationsverläufe (vgl. Rammert 1997):

- Kontinuierliche kumulative Zyklen vormodernen technischen Wandels werden zu diskontinuierlichen zyklischen Rhythmen moderner Innovation.
- Technische Innovationen erfahren eine Beschleunigung.
- Die Trennung zwischen universitärer und unternehmerischer Forschung verschwindet ebenso, wie die Trennung von Grundlagenforschung, angewandter Forschung und Technologie.
- Die Richtung von Innovationen ist ungewiss (Ambivalenz), d.h. die Optionen sind vielfältig und die Erwartbarkeit gering.
- Es gibt eine Vielzahl beteiligter Akteure (Verteiltheit) und eine Vielzahl zu berücksichtigender Informationen.
- Lokalität und Globalität sind nicht mehr voneinander zu trennen (Glokalität).
- Es entsteht auf Seiten der unterschiedlichen Akteure die Notwendigkeit, die Hilfe vermittelnder Agenturen in Anspruch zu nehmen.

Der gegenwärtige Diskurs zeigt, dass eine Verflüssigung etablierter Grenzziehungen stattfindet. Das gilt für den Bereich der Wissensproduktion ebenso wie für Innovationsverläufe und ist wiederum ein Zeichen für den grundlegenden Strukturwandel der Gesellschaft. Krücken und Meier sprechen in Bezug auf Castells von einer „durch Grenzüberschreitungen charakterisierten Innovationsgesellschaft“ (Krücken/Meier 2003: 72), die sich „durch umfassende Auflösungserscheinungen von Grenzziehungen vormals institutionell eindeutig

¹² Erinnert sei an die Problematik, ob nach der Moderne eine qualitativ neue Form steht oder eine fortgesetzte neue Form der Moderne.

voneinander getrennter Sektoren“ (Ebenda) auszeichnet. Und diese „Innovationsgesellschaft“ ist ihrer Meinung nach eine Netzwerkgesellschaft. Wenngleich Krücken und Meier in der Strukturform des Netzwerkes einen grundlegenden Mythos der Innovationsgesellschaft sehen und den Netzwerken vor allem eine Legitimierungsfunktion zuschreiben¹³, so können sie jedoch nicht abstreiten, dass Netzwerken auch eine instrumentelle Funktionalität innewohnt und netzwerkartige Arrangements zur Lösung bestimmter Probleme besonders geeignet sind.

Die bisherigen Typen der Innovation – Innovation durch den Markt und Innovation in der Organisation – können den genannten Veränderungen nicht mehr in jeder Situation gerecht werden. Ein neues Innovationsregime ist gefragt, das der „reflexiven Innovation“ in der reflexiven Moderne gewachsen ist. Die „reflexive Modernisierung“ stellt eine „Selbsttransformation“ dar, welche nicht reflektiert wird, sondern reflexartig, eigendynamisch und nicht geplant und gewollt, als Ergebnis strategischen Handelns, abläuft (vgl. Beck 1996: 27). Insofern kommt den Nebeneffekten und den Nebeneffekten der Nebeneffekte – „interne Nebenfolgen der Nebenfolgen“ (Ebenda) – eine höhere Bedeutung als bisher zu. Denn diese Effekte, zum einen ungewollte Ausmaße annehmend, zum anderen unerhoffte Handlungshorizonte öffnend, bedingen den ungelenkten Transformationsprozess. Die sichtbaren Auswirkungen wurden bereits angeführt. Die Rückwirkungen des erfolgreichen Fortschritts auf die Gesellschaft verändern die Grundlage desselben, d.h. die gesellschaftlichen Strukturen an sich. Es wäre fatal anzunehmen, dass es zweckmäßig und ausreichend ist, die Innovationsbemühungen reflexartig zu handhaben. Reflexive Innovation soll gerade nicht reflexartig ablaufen, sondern sehr wohl reflektiert werden, und zwar von allen beteiligten Akteuren zu jedem Zeitpunkt. *„Reflexive innovation calls for a competence to understand the rationality of others and to take the role of the other participants in the distributed innovation process.“* (Rammert 2001: 13) Dabei sind vor allem die Hürden von Heterogenität und Diversität zu überwinden. Die Anforderungen in einem neuen und an ein neues Innovationsregime sind vor allem Sicherheit trotz Flexibilität und Einheit trotz Vielzahl. Ob neue Typen der Innovation im neuen Innovationsregime die bisherigen Möglichkeiten der Innovationsgenerierung erweitern oder ersetzen, ob es zu einer Pluralisierung oder Ablösung kommt, wird an dieser Stelle nicht behandelt.¹⁴

Ein Netzwerk bietet die nötigen Vorteile, die ein neuer Typ der Innovation haben sollte: Verhandlungen bringen die heterogenen Akteure an einen Tisch und Vertrauen bindet selbige an die Zielerreichung. Es gibt keine starren Regeln und keine Trägheit wie in Organisationen und auch keine hohen Unsicherheiten wie auf dem Markt. Anders ausgedrückt stellen Netzwerke Leistungen zur Verfügung, „die sonst nur entweder per Markt oder per Hierarchie zu erhalten sind, nämlich die Flexibilität marktförmiger Interaktion und die Verlässlichkeit und Effizienz organisierter Strukturen“ (Weyer 2000: 10). Diese Vorteile kommen insbesondere in unübersichtlichen und turbulenten Umwelten zum Tragen. Netzwerke reduzieren Unsicherheit und ermöglichen Leistungssteigerung. Außerdem sind Netzwerke eine vorteilhafte Konstellation, wenn es vorrangig um die Produktion, Verbreitung und Nutzung von Wissen und Informationen geht. Dass Netzwerke häufig zu emergenten, aber auf jeden Fall zu synergetischen Effekten führen, ist weithin bekannt. Die Stellung von Netzwerken als Koordinationsform (im Grunde ökonomischer Aktivitäten) in Kontrast zu Markt und Organisation wurde in der Literatur ausführlich dargestellt (vgl. bspw. Powell 1990 oder Weyer 2000) und der Vorteil von Netzwerken benannt (s.o.). Ebenso wird aber auch auf die Gefahr von Netzwerkversagen infolge „Verfilzung“, Dominanz einzelner Akteure usw. in der Literatur hingewiesen (vgl. Kappelhoff 1999: 28ff.).

13 Und damit nicht ganz Unrecht haben, teilt man die Ergebnisse ihrer Untersuchung von Transferstellen.

14 Aber es lässt sich sicher eine Pluralität der Innovationstypen nachweisen.

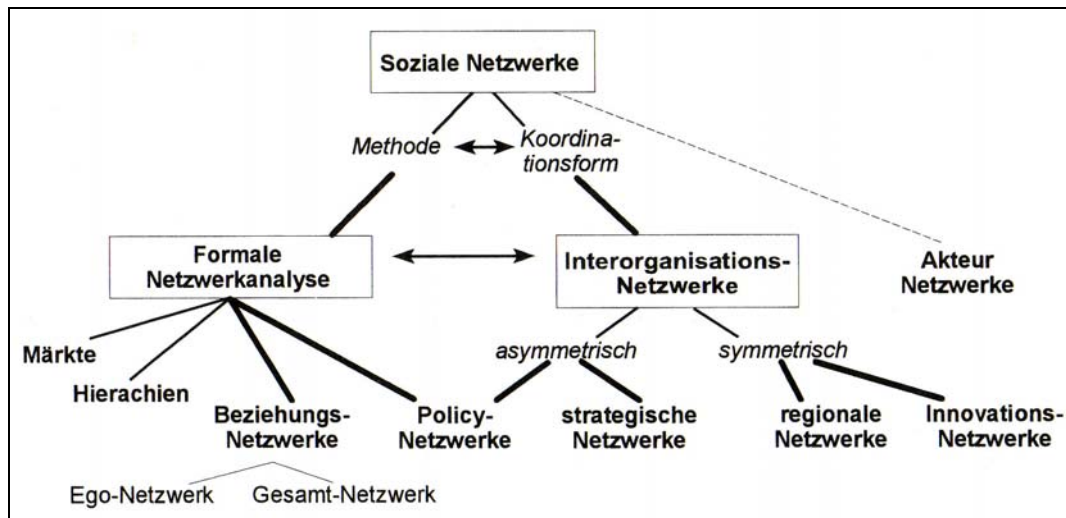


Abbildung 2: „Landkarte“ sozialwissenschaftlicher Netzwerkforschung

Netzwerke als Typus von Handlungskoordination zu fassen, stellt in der sozialwissenschaftlichen Netzwerkforschung eine der beiden Arten dar, sich sozialen Netzwerken zu nähern (vgl. dazu Weyer 2000: 14ff. und bes. Abbildung 2). Insofern gibt Weyer aus dieser Perspektive an: Unter einem sozialen Netzwerk soll eine „eigenständige Form der Koordination von Interaktionen verstanden werden, deren Kern die *vertrauensvolle Kooperation* autonomer, aber interdependenter [...] Akteure ist, die für einen begrenzten Zeitraum zusammenarbeiten“ (Weyer 2000: 11). Der Fokus liegt hier auf der Untersuchung der tatsächlich stattfindenden Interaktionen, der manifesten Strukturen.

Die andere analytische Möglichkeit besteht darin, Netzwerke in einem formalen Sinn eher als reine Beziehungsgeflechte anzusehen. Jansen, als Vertreterin der formalen Netzwerkanalyse (i. F. NWA), geht daher allgemeiner an das Thema heran: „Ein Netzwerk ist definiert als eine abgegrenzte Menge von Knoten oder Elementen und der Menge der zwischen ihnen verlaufenden so genannten Kanten.“ (Jansen 1999: 52, Hervorhebung weggelassen.) Bei der Betrachtung und Analyse von Netzwerken sind in diesem Sinne also zwei Komponenten von besonderer Bedeutung. Zusätzlich zu den Akteuren (Knoten), die aus bestimmten Gründen miteinander verbunden sind und das Netzwerk bilden, sind deren Beziehungen (Kanten) untereinander zu berücksichtigen. Beziehungen lassen sich über ihren Inhalt (z.B. Transaktionen, Kommunikation), ihre Intensität und ihre Form (Gerichtetheit) näher bestimmen und unterscheiden (vgl. Jansen 1999: 52f.). Die Beziehungen definieren i. A. das Netzwerk und es zeigt sich, in welcher Art und Weise das Netz zusammengehalten wird. Netzwerke sind aus dieser Sicht lt. Weyer eher als methodisches Konstrukt anzusehen, d.h. sie können, müssen aber nicht durch faktische Interaktion realisiert sein. Aus den formalen Zusammenhängen leitet die NWA dennoch Aussagen über die Interaktionen ab. Wie schon Weyer in den weiteren Ausführungen zur Komplementarität der beiden Ansätze andeutet, scheint es sinnvoll zu überlegen, „wie sich struktur- und prozessorientierte Ansätze bzw. system- und handlungsorientierte Sichtweisen integrieren lassen“ (Weyer 2000: 18). Erst recht, wenn Wandel, sowohl sozial als auch technologisch unter einer verhaltens-theoretischen Perspektive betrachtet wird.

Wie erwähnt, definieren sich Netzwerke über ihre Beziehungen, über die Akteure oder über den Grund ihres Vorhandenseins. Daher kann mit Blick auf die Relationen erstens in Kommunikations- und Transaktionsnetzwerke sowie Beziehungsnetzwerke etc. unterschieden werden. Zweitens wird nach Art der Knoten zwischen Personennetzwerken, Organisa-

tionsnetzwerken u.ä. differenziert.¹⁵ Und drittens werden (in Anlehnung an Weyer 2000 und Abbildung 2) strategische Netzwerke von regionalen Netzwerken, Policy-Netzwerken und Innovationsnetzwerken – die nun näher beleuchtet werden – getrennt.

Schlüsseltechnologien der heutigen Zeit sind stark wissensbasiert, d.h. sie bauen zu einem großen Anteil auf Erkenntnissen und Ergebnissen der Grundlagenforschung auf. Die Technologien sind jung und befinden sich noch auf dem Level der Grundlagenforschung oder schon auf dem Level der Entwicklung erster Prototypen. Die beteiligten Akteure agieren in einer unsicheren Umwelt und suchen nach effizienten Problemlösungen jedweder Art – die Forschung gilt somit als Hauptquelle technologischen Fortschritts. Der Zusammenschluss der Akteure in Jungtechnologiefeldern wie bspw. Bio- oder Nanotechnologie ist als Innovationsnetzwerk zu bezeichnen, da in der Grundlagenforschung und im Wachstum eines Technologiefeldes Innovationen im Vordergrund der Bemühungen stehen und das erklärte Ziel des Netzes sind. „Neuerungen sind Netzwerkeffekte. Innovationen entstehen im Netz.“ (Rammert 1997: 412) Definitorisch lässt sich festhalten: Ein Innovationsnetzwerk stellt eine Form von interorganisationalen Netzwerken dar und ist gekennzeichnet durch eine Vielzahl heterogener Akteure und deren interaktive Vernetzung. Die Mitgliedschaft in Netzwerken ist für viele Unternehmen nötig, da diese gar nicht in der Lage sind, eigene Innovations- bzw. Forschungsabteilungen zu unterhalten. Zumal es sich bei jungen Technologiefeldern wie Biotechnologie und Nanotechnologie meist um kleine Unternehmen handelt, die auf Kapital und andere Unterstützung angewiesen sind. Doch ein Netzwerk ermöglicht nicht nur die Kooperation verschiedener Firmen, sondern darüber hinaus auch „interorganisatorische Abstimmungsprozesse zwischen verschiedenen sozialen Kontexten, wie etwa Wissenschaft, Wirtschaft und Politik“ (Krücken/Meier 2003: 78).

Unter den derzeitigen strukturellen gesellschaftlichen Gegebenheiten ist es nicht nur sinnvoll, sondern auch nötig, ein neues Innovationsregime zu etablieren. Das Netzwerk kann, im Gegensatz zu Markt und Hierarchie, den neuen Anforderungen an eine innovationsfördernde Struktur gerecht werden.

Exkurs zu Nanotechnik, Innovation und Netzwerk

Analog zum Verhältnis Innovation und Nanotechnik¹⁶ lässt sich feststellen, dass das Netzwerk um Nanotechnik nicht nur ein Netzwerk ist, das Innovationen hervorbringt, also ein Innovationsnetzwerk, wie es in der Arbeit definiert wurde. Sondern es ist vom Ursprung her ein Netzwerk um eine Innovation ganz im Sinne Weyers. Abbildung 3 soll dies veranschaulichen.

Nanotechnik ist, wie schon so oft in dieser Arbeit formuliert, eine Innovation. Diese Innovation wird genutzt, um weitere Innovationen, vor allem Produktinnovationen für das alltägliche Leben bereitzustellen (Pfeil von oben links nach oben rechts). Dies geschieht folgendermaßen. Nanotechnik entwickelt sich in einem Netzwerk, besser: um Nanotechnik als Innovation bildet sich ein Netzwerk (Pfeil links oben nach links unten). Dieses Netzwerk ist ein neuer Typ der Innovation – das Innovationsnetzwerk. Denn in einem Netzwerk herrscht ein katalytisches Klima für neue Innovationen (Pfeil von links unten nach rechts unten). Diese Innovationen sind letztendlich Innovationen der Nanotechnik (Pfeil von rechts unten nach rechts oben). Wenn Nanotechnik als Innovation neue Produkte hervorbringt, so geschieht dies über ein Netzwerk.

¹⁵ Zur Art der Relationen und der Knoten vgl. bspw. Jansen 1999: 52f.

¹⁶ Siehe Ziffer 3.2: Nanotechnik ist eine Innovation und bringt wiederum Innovationen hervor.

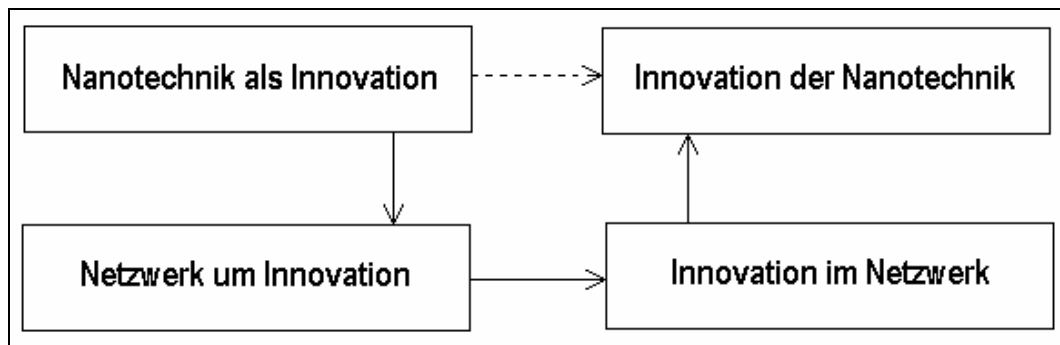


Abbildung 3: 4Box-Schema

5. Methodisches Vorgehen

Um das Feld Nanotechnologie und die darin enthaltenen Innovationsnetzwerke zu analysieren, wurden einerseits eine empirische Vorgehensweise und andererseits eine Theoriekonzeption gewählt.

Zunächst wird das empirische Vorgehen, welches der Datenerhebung diene, vorgestellt. Hierbei war primär die Handlungskoordination von Interesse und es wurden auf der Basis qualitativer Experteninterviews Daten erhoben. Dies war die eine empirische Stoßrichtung, bei der es vor allem darum ging, vielfältige Meinungen zur Struktur des zu untersuchenden Kompetenzzentrums und zur Kooperation im Kompetenzzentrum selbst einzuholen. Die Daten wurden in sieben Befragungen mit dem Netzwerkkoordinator des Kompetenzzentrums und verschiedenen Mitgliedern aus Wirtschaft und Wissenschaft erhoben. Weiterhin wurden zur Gewinnung von relevanten Daten neben den Interviews die Literatur und das Internet herangezogen. Aber auch quantitativ, d.h. über die formale NWA als ein Instrument der Strukturanalyse, konnten Ergebnisse in Bezug auf das Thema der Arbeit erzielt werden. Dies war bspw. der Fall, wenn ein Akteur durch seine zentrale Stellung die Gleichberechtigung innerhalb des Netzes stört und so verständlicherweise die Handlungskoordination gefährdet. Es sollte aber keine ‚strenge‘ Netzwerkanalyse mit der Aufstellung von (Sozio-)Matrizen und komplexen Berechnungen durchgeführt werden. Das Ziel war die Identifikation und grobe Beschreibung einer Sozialstruktur im Feld Nanotechnologie, die als Netzwerk bezeichnet werden kann. Es wurden daher, als weitere Vorgehensweise und in Ergänzung der qualitativen Methode, nur die ersten Schritte einer NWA durchgeführt, nämlich zum einen die Abgrenzung des Netzes und zum anderen die Erhebung struktureller Daten, welche zur Klärung der Fragestellung hilfreich sein könnten.

Die Konzeption einer theoretischen Basis, um die gewonnenen Daten darauf zu beziehen, stellt eine Kombination des Phasenmodells der Technikgenese von Weyer und der Typisierung von Netzwerken von Powell dar. Beide Theorieteile werden im Folgenden erörtert. Interorganisationsnetzwerke besitzen eine Reihe von Strukturmerkmalen, die bei einer Netzwerkanalyse zu untersuchen wären und deren Relevanz und Rangfolge umstritten ist. Zu diesen Merkmalen zählen insbesondere Kooperation, Vertrauen, Selbstverpflichtung, Verlässlichkeit, Verhandlung, Vertragsrecht und ein dauerhafter Beziehungszusammenhang (vgl. Sydow/Windeler 1999: 11). Als „im Netzwerkdiskurs prominente Trias von Strukturmerkmalen“ (Sydow/Windeler 1999: 18) werden jedoch Vertrauen, Kooperation und Macht erachtet. In dieser Arbeit soll der Machtaspekt außen vor bleiben und höchstens über formale Vormachtstellungen innerhalb eines Netzwerkes wieder einfließen. Das Hauptaugenmerk liegt, wie bereits erwähnt, auf der Kooperation der einzelnen Organisatio-

nen. Vertrauen ist ebenfalls ein wichtiges Merkmal von Netzwerken, denn es gibt keine derartigen Verträge wie auf dem Markt und keine Befehlshierarchie wie in Organisationen. Somit ist die Kooperation im Netz freiwillig und, da die vernetzten Organisationen und Unternehmen oft Konkurrenten sind, wird von „kompetitiver Kooperation“ (Ders.: 19) gesprochen. Powell hat im Zusammenhang von Vertrauen und Zusammenarbeit vier (andere als die o.g.) Typen netzwerkbasierter Zusammenarbeit unterschieden, welche in ihrer Vertrauensanlage jeweils verschieden sind. Diese Typen sind *industrial districts*, *R&D networks*, *business groups* und *strategic alliances* (vgl. Powell 1996). In der vorliegenden Arbeit soll das besondere Augenmerk auf den F&E-Netzwerken liegen, denn hier scheint eine gewisse Ähnlichkeit zum „Kompetenznetz“ Nanotechnologie vorzuliegen. Die von Powell idealtypisch beschriebenen F&E-Netzwerke entstehen aus der Mitgliedschaft in einer technologischen Gemeinschaft. Durch ein gemeinsames Thema, die gegenseitige Wahrnehmung über Veröffentlichung, Kongresse, Reputation usw. und aufgrund der langfristigen Mitgliedschaft werden die Bindungen dauerhaft und fest. Es werden Kooperationen mit Firmen gebildet. Vor allem in sich schnell entwickelnden Feldern sind aus genannten Gründen Organisationen gezwungen, sich Netzwerken anzuschließen. So finden sich in einem F&E-Netzwerk Universitäten, Forschungseinrichtungen, Start-up-Firmen etc. zusammen. Powell drückt diese Tatsache treffend aus: „[The ...] collaboration among members of a technological community and the «unnatural» cooperation among business enterprises are joined“ (Powell 1996: 57). Die Vorteile liegen auf der Hand:

- Die wissenschaftlich/professionelle Mitgliedschaft fördert und beschleunigt die Entwicklung von Innovationen.
- Der Fortschritt steht über der Loyalität zur Firma, d.h. es erfolgt ein ‚Handel‘ mit Wissen und Mitarbeitern.
- Kooperierende Firmen mit unterschiedlichen Kompetenzen können neue Ideen generieren.
- Die Verknüpfung von Firmen und bspw. Universitäten führt zur Rekrutierung neuer Wissenschaftler.

Wie nun ein solches oder anderes Netzwerk entstehen kann, das beschreibt Weyer (Weyer u.a. 1997) durch die Genese von Technik als einem mehrstufigen Prozess der sozialen Konstruktion von Technik. Dabei gelingt ausgehend von einer radikalen Innovation die Bildung eines sozialen Netzwerks um einen sog. sozio-technischen Kern. Dieses Netzwerk ist Träger und Motor der weiteren Technikentwicklung in drei unterschiedliche Phasen bis hin zur Markteinführung. Der hier verwendete theoretische Ansatz als zweiter Punkt der methodischen Vorgehensweise zur Analyse des „Kompetenznetzes“ Nanotechnologie ist, wie schon erwähnt, eine Kombination dieses Phasenmodells und der genannten Typisierung von Netzwerken. Vorausschickend müssen zwei Aspekte hervorgehoben werden. Erstens ist eine Modifikation des Technikgenesmodells nötig. Denn während Weyer die Entwicklung einer Technik (Computer, Transrapid) von der Innovation zum Produkt betrachtet, so sind die Verhältnisse im Feld Nanotechnologie anders. Die von mir so genannte Nanotechnik ist keine Technik, die für den alltäglichen Gebrauch auf den Markt gebracht werden kann. Sondern es ist eine Technik, die zu neuen Produkten führt. Der Ursprung der Technik liegt zwar auch in einer Innovation, aber einer Basisinnovation, deren weiterer Entwicklungsverlauf (rein theoretisch) in einer Reihe von unterschiedlichen innovativen Produkten mündet. Zweitens liegt der Fokus nicht auf sozialen Netzwerken allgemein, sondern auf F&E-Netzwerken im Speziellen. Das bedeutet, dass der Kreis der Akteure, die den sozio-technischen Kern und das bzw. die spätere(n) Netzwerk(e) bilden, eingeschränkt ist. Wenn bei

der folgenden Darstellung des Phasenmodells von Vernetzung die Rede ist, so soll damit stets eine Verknüpfung von Organisationen bzw. Unternehmen gemeint sein.

Modifiziertes Phasenmodell

Ich gehe davon aus, dass, anders als bei Weyer, in einer Phase 0 entweder eine Vision entwickelt wird, der Weg zur Erreichung (inkl. technischer Geräte und Verfahren) aber noch nicht bestimmt werden kann. Oder, dies ist die andere Möglichkeit, das Gerät oder Verfahren existiert, aber der Nutzen bzw. die Vision zeichnet sich noch nicht klar ab. Können in der Folge Vision und Weg in Einklang gebracht werden, so ist die Grundlage für die erste Phase geschaffen. Während der Phase 0 gibt es i. A. keine Verbindung der Akteure, sondern es findet lediglich eine Wahrnehmung über Medien oder einen vereinzelt Kontakt statt. Der Prozess ist gekennzeichnet durch Gedankenexperimente. Hierdurch differenziere ich Weyers Entstehungsphase, um die später auf den Entwicklungsprozess wirkenden Faktoren vor der Entstehung des sozio-technischen Kerns zu erfassen. So war Feynman bspw. gar kein Akteur während der ersten Phase, denn diese setzte erst später ein und genauso wenig ist Drexler im Netzwerk NanOp vertreten. Beide haben jedoch maßgeblichen Anteil an der Entwicklung von Nanotechnologie. Im Fall einer vorhandenen Vision geben die eintretenden radikalen Innovationen hinsichtlich Artefakt und/oder Handeln der Vision mehr Gestalt und eine Richtung. Dies wird von der betroffenen technologischen Gemeinschaft wahrgenommen. Gibt es schon eine Innovation bspw. ein Gerät, so ergibt sich durch die Gedankenexperimente und die Ver- und Anwendung der Innovation eine Idee der Nutzung.

In beiden Fällen bildet sich so die Basis für die Entstehung eines sozio-technischen Kerns, der Grundmerkmal der Phase I des Modells ist. Für diese Phase ist ein spielerischer Umgang und ein weiteres Ausprobieren – jedoch nicht völlig ziellos, wie in Phase 0 – charakteristisch. Infolge des Experimentierens der lose verbundenen, aber einer technologischen und daher eher homogenen Gemeinschaft zugehörigen Akteure bildet sich der sozio-technische Kern heraus. Es wird begonnen, Grundlagenforschung zu betreiben, Konferenzen abzuhalten und Publikationen zu schreiben. Infolgedessen wächst die Zahl der Akteure und die Beziehungen verstärken sich. Dies ist der Übergang zu Phase II. Während des Übergangs zur zweiten Phase ist es möglich – und hier erfolgt eine weitere Abgrenzung zu Weyer –, dass in der Folge nicht nur ein Netzwerk entsteht, sondern etwas entscheidendes passieren kann: Das junge Netz spaltet sich auf. Und je nach thematischer Ausrichtung, wissenschaftlicher Disziplin u.ä. entstehen Netze mit demselben sozio-technischen Kern, aber einem anderen Nutzungs- und Anwendungsfokus desselben.

Die in Phase II entstandenen bzw. im Entstehen begriffenen Netzwerke sind F&E-Netzwerke im Sinne Powells und als Innovationsnetzwerke zu bezeichnen. Deren Merkmale erzeugen eine entsprechende Konsistenz der Netze, d.h. fördern und ermöglichen die Stabilität. Die Forschung geht über in eine angewandte Forschung und es werden Prototypen etc. entwickelt. In dieser zweiten Phase ist eine Kooperation von Universitäten und Unternehmen nötig und unabdingbar. Infolgedessen rekonfigurieren sich die Netzwerke in dieser Phase und es kommt jeweils zu einer Schließung¹⁷. Diese Prozesse können je Netz unterschiedlich lange dauern und so ist der Übergang zur dritten Phase für jedes Netz verschieden.

In Phase III werden Produkte hergestellt, welche in bestehende Märkte integriert werden bzw. neue Märkte schaffen sollen. Dazu ist eine Öffnung und Rekonfiguration des jeweili-

¹⁷ Soziale Schließung oder *closure* bedeutet in Anlehnung an Bijker, dass sich eine Gruppe sozialer Akteure auf die Form und Bedeutung eines Artefakts o.ä. einigt.

gen Netzes nötig. In dieser Phase kann aufgrund der veränderten Akteurskonstellation nicht mehr von einem F&E-Netzwerk gesprochen werden.

6. Kooperationsnetz Nanotechnologie

Das weltweite Engagement im Bereich Nanotechnologie spiegelt sich in verschiedenen je nationalen interdisziplinären Forschungsprogrammen wieder. Beispiele hierfür sind das seit 1992 bestehende *Joint Research Center of Atom Technology* (JRCAT) in Japan, das *Center for Nanobiotechnology* und das *Center for Nanotechnology* in den USA sowie die seit 1998 in Förderung befindlichen Kompetenzzentren in Deutschland (vgl. Bachmann 2004). „Vornehmliches Ziel solcher Nanotechnologie-Netze ist das Thema Nanowissenschaft als Vorstufe für Umsetzungsaktivitäten in der Nanotechnologie.“ (Ders.) Die Bezeichnung Nanowissenschaft wird an anderer Stelle in der Literatur (Hullmann 2001), wie nachfolgend erörtert, verwendet. Hullmann unterscheidet wissenschaftliche Disziplinen (Naturwissenschaften und Ingenieurwissenschaften) von nanotechnologischen Teildisziplinen (wie Optik, Materialien, Automobiltechnik usw.), die zusammen das Feld Nanotechnologie bilden und trennt damit Nanowissenschaft, womit die wissenschaftlichen Disziplinen gemeint sind, von umsetzungsorientierter Nanotechnologie (vgl. Hullmann 2001: 149f.). Voraussetzung dafür ist eine Unterscheidung von Wissenschaft und Technologie in der Art, dass Wissenschaft Wissen vermehren will und Technologie die wirtschaftlichen Erträge (Dies.: 53). Das, was hier als nanotechnologische Teildisziplinen bezeichnet wird, sind Anwendungsgebiete der von mir so genannten Nanotechnik. Der Begriff Nanowissenschaft meint vereinfachend den Bereich der Forschung in Abgrenzung zum Bereich der Produktion. Ähnlich beschreiben Rieke und Bachmann Nanowissenschaft als grundlagennahe Nanotechnologie-Forschung (vgl. Rieken/Bachmann 2004: 35). Und so liest sich Bachmanns Zitat folgendermaßen: Der vornehmliche Fokus solcher Nanotechnologie-Netze liegt auf der Erforschung des Feldes als Vorstufe für Umsetzungsaktivitäten im Bereich Nanotechnologie.

6.1 Kompetenznetze und Kompetenzzentren

Das Feld Nanotechnologie befindet sich noch immer im Entwicklungsstadium, sprich: in der Grundlagenforschung mit Tendenz zur Anwendungsorientierung. Das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) betitelt derartige technologische Felder in Deutschland als Innovationsfelder¹⁸. Neben der rein finanziellen Förderung solcher Innovationsfelder wurde diese an eine Idee geknüpft – die Idee des Kompetenznetzes. In Deutschland findet sich eine immense Anzahl verschiedenster Kompetenznetze verstreut über zahlreiche (Innovations-)Regionen und Innovationsfelder. Das BMBF hat „Kompetenznetze als Förderinstrument etabliert“ (Stahl-Rolf/Hamann/Hausberg 2004: 4), um eine Strategie zu entwickeln, „auf die Herausforderungen, die sich wandelnde Innovationsprozesse und die Globalisierung der Wirtschaft mit sich bringen“ (Ebenda; Hervorhebung weggelassen), zu reagieren¹⁹. Und daher ist, um es noch einmal zu wiederholen, ein „neuer

¹⁸ Beispiele für Innovationsfelder sind Nanotechnologie oder Biotechnologie und Medizintechnik, aber auch Bildung und Bionik. Innovationsregionen sind bspw. Berlin-Brandenburg, Aachen oder Stuttgart (vgl. weiterführend <http://www.kompetenznetze.de>).

¹⁹ Erinnert sei an Ziffer 4: Technologischer Wandel und Netzwerke.

innovationsorientierter Ansatz notwendig, der dem interdisziplinären Charakter dieses Technologiefeldes entspricht“ (Bachmann 1998: 9). Dieser innovationsorientierte Ansatz ist das Innovationsnetzwerk. Und Katalysatoren für diese über Disziplinen hinausgehende Kooperation sind zum einen die funktionalen Abhängigkeiten der Disziplinen und zum anderen die Arbeit unter dem gleichen *label* „Nano“. Der Gedanke, der hinter den Kompetenznetzen steht, beruht auf der in Forschung und Wirtschaft stattfindenden Differenzierung und der damit verbundenen Spezialisierung sowie auf dem veränderten Charakter des Innovationsprozesses. Einzelne Akteure, womit auch korporative Akteure gemeint sind, sind aufgrund dieser Tendenzen kaum in der Lage, die Entwicklung von Technik erschöpfend voranzutreiben. Kompetenznetze dienen dazu, „sich ergänzende Einzelkompetenzen in einer Netzwerkstruktur“ (Stahl-Rolf/Hamann/Hausberg 2004: 7) zusammenzubringen. Das Ziel von Kompetenznetzen ist es, Kommunikation und Kooperation aller Akteure einer Wertschöpfungskette, also von der Grundlagenforschung bis zur industriellen Produktion, zu ermöglichen und zu verbessern. Die Aufgabe bzw. die Rolle der Kompetenzzentren ist daher wie folgt veranschlagt:

- „Schaffung eines wirtschaftlich attraktiven Umfelds (z.B. Kapital für Start-ups)
- Öffentlichkeitsarbeit
- Aus- und Weiterbildung
- Fragen der Standards und der Normung
- Beratung von Unternehmen
- Koordinierung der Forschung auf ihrem jeweiligen Gebiet“ (Bachmann 2004).

Kompetenznetze sind unterschiedlicher Natur. Einerseits gibt es Netze, zu denen das hier untersuchte Kompetenzzentrum zählt, die sich national aufspannen und einen thematischen Schwerpunkt haben. Andererseits gibt es regionale Netze, die unter einem breiteren Themenfeld arbeiten wie bspw. das Kompetenznetz Optische Technologien (OpTecBB)²⁰.

Wenn bisher von einem „Kompetenznetz“ Nanotechnologie die Rede war, so ist dies zugegebenermaßen irreführend. Denn entgegen der Annahme, dass die einzelnen Kompetenzzentren zusammen, jeweils ergänzt mit entsprechenden Partnern, ein Netz ergeben, ist die Intention und somit Interpretation des BMBF anders. Das Kompetenznetz ist lediglich ein Konzept des BMBF und daher wurde und wird der Begriff Kompetenznetz, im Sinne von Konzept, von mir stets in Anführungszeichen gesetzt. In der Praxis soll sich um jedes Kompetenzzentrum ein je thematisch anderes Kompetenznetz mit regionalen „Clustern“ entwickeln. Das „Kompetenznetz“ kann als Meta-Netz bezeichnet werden, welches ein Dach über den Netzen eines Innovationsfeldes bildet. Und so besteht die Grundidee des „Kompetenznetzes“ Nanotechnologie, wie bereits erwähnt, darin, entsprechenden Interessenten auf nationaler Ebene kompetente Ansprechpartner zur Verfügung zu stellen. Diese sollen dann helfen, Fragen zum Thema Nanotechnologie, entsprechende Projektideen o.ä. zu bearbeiten. Die einzelnen Kompetenzzentren übernehmen somit die Rolle von Mediatoren, denen Koordinationsaufgaben, Öffentlichkeitsarbeit usw. obliegt. Sie sind – vorerst im räumlichen Sinn – zentrale (Koordinations-)Akteure im Netz, denen aber wiederum das BMBF als „Schirmherr“ übergeordnet ist und dem sie Rechenschaft schuldig sind. Das Konzept der Kompetenznetze kann so verstanden werden, dass das BMBF versucht, durch öffentliche Förderung eine *community* zu schaffen, wobei der Rahmen dafür vom BMBF selbst vorgegeben wird.

20 „Optec-Berlin-Brandenburg (OpTecBB) e.V. ist eine Initiative von Firmen und wissenschaftlichen Einrichtungen in Berlin und Brandenburg, die gemeinsame Wege zur Erschließung und Nutzung optischer Technologien gehen wollen.“ (<http://www.optecbb.de>).

6.2 Nanotechnologie als Fall

Dieses Kapitel soll vorrangig dazu dienen, das Feld Nanotechnologie und seine Kompetenzzentren vorzustellen und die Beantwortung der Frage, ob die einzelnen Kompetenznetze des Feldes Nanotechnologie als Innovationsnetzwerke klassifiziert werden können, vorzubereiten. Nach und nach werden empirische Daten mit den theoretischen Überlegungen aus den vorangegangenen Kapiteln miteinander verknüpft und aufeinander bezogen.

Der Ausgangspunkt der Nanotechnologie, so der allgemeine Konsens, liegt in der Rede von Feynman im Jahre 1959. Feynman teilte dem erstaunten Publikum seine Vision mit: *„But I am not afraid to consider the final question as to whether, ultimately – in the great future – we can arrange the atoms the way we want; the very atoms, all the way down!“* (Feynman 1959: 9) Die Phase 0 hat begonnen. 1974 bekommt das Gebiet einen Namen und die 1981 anschließende Erfindung des Rastertunnelmikroskops stellt die Verwirklichung der Vision(en) in Aussicht, welche vor allem seit 1986 durch Drexlers Buch verstärkt werden. Ende der 80er Jahre wird die Vision Wirklichkeit. Die Verknüpfung von Idee und Lösungsweg ist gelungen und Phase I beginnt. Der sozio-technische Kern bildet sich aus der technisch-instrumentellen Konfiguration und der sozialen Konfiguration. Für den Fall von Nanotechnologie besteht dieser Kern aus (a) dem Rastertunnelmikroskop, (b) dem Top-Down- und dem Bottom-Up-Prinzip und (c) dem disziplinübergreifenden Kreis der Forscher, die sich mit kleinsten Strukturen befassen, also einer technologischen Gemeinschaft angehören. Der sozio-technische Kern stellt eine Orientierung dar, die zwar Entscheidungen beeinflusst, aber nicht deterministisch festlegt. Den Kreis der Wissenschaftler, die sich mit kleinsten Strukturen beschäftigen, gab es wahrscheinlich schon früher, nun aber wurde eine Verbindung geschaffen, es werden Visionen geteilt und Informationen ausgetauscht. Die ‚Nanowissenschaftler‘ sind gleichzeitig heterogene (nach Disziplin) und homogene (nach Forschungsfeld Nanostrukturen) Akteure. Das Netzwerk ist in dieser frühen Phase eher als Personennetzwerk zu beschreiben. Da viele Disziplinen von der Entwicklung betroffen sind, gibt es verschiedene Ideen der Anwendung von Nanotechnik. So ist das Entstehen unterschiedlicher Richtungen in der Nanotechnologie zu erklären. Anders formuliert: Die vormals von einander separierten Disziplinen haben sich im ‚Nanokosmos‘ getroffen und ordnen sich nach anderen Gesichtspunkten neu²¹. In Phase II entwickeln sich die einzelnen Strukturen weiter und es entstehen interdisziplinäre heterogene Netzwerke, die zu diesem Zeitpunkt nicht mehr als interpersonell zu beschreiben sind, sondern über Kooperationen von Organisationen und Unternehmen definiert werden. Die jeweiligen Ansprechpartner im Netz sind weiterhin die Mitglieder der technologischen Gemeinschaft, doch repräsentieren sie nun ihre Organisation oder Institution.

An dieser Stelle beginnt im Jahr 1998 in Deutschland die Geschichte der Nanotechnologie-Netze. Die Kompetenzzentren (i.F. auch CC) der Nanotechnologie als Antwort auf die veränderten Bedingungen des Innovationsgeschehens bestehen seit nunmehr 7 Jahren. Innerhalb des Feldes haben sich verschiedene Kompetenznetze um die einzelnen Kompetenzzentren gebildet. Die Initiative zur Gründung des Kompetenznetzes für Nanotechnologie hat das BMBF übernommen. Die Gründe dafür wurden bereits dargestellt. „Die Förderinitiative [...] basiert auf einem Workshop mit ca. 300 Teilnehmern, der 1998 stattfand. Gemeinsam mit Industrie und Wissenschaft wurde beschlossen, einen Wettbewerb zur Findung von Kompetenzzentren der Nanotechnologie auszuschreiben und die anwendungsorientierte Projektförderung der Nanotechnologie zu intensivieren. Sechs Kompetenzzentren der Nanotechnologie nahmen im Oktober 1998 ihre Arbeit auf.“ (Bachmann 2004) Diese

21 Stichwort Fragmentierung.

sechs Kompetenzzentren waren (vgl. Abbildung 4 in der alle aktuellen Kompetenzzentren eingezeichnet sind (aus www.kompetenznetze.de)):

- Laterale Strukturierung (Nanoclub Lateral), Federführer: Amica, Aachen,
- Funktionalität durch Chemie, Federführer: Universität Kaiserslautern,
- Nanotechnologie in der Optoelektronik (NanOp), Federführer: TU Berlin,
- Ultradünne funktionale Schichten, Federführer: FhG-IWS Dresden,
- Nanoanalytik, unter wechselnder Federführung der Universitäten Münster, Hamburg und München und
- Ultrapräzisionsbearbeitung (UPOB), Federführer: UPOB e.V., PTB Braunschweig.

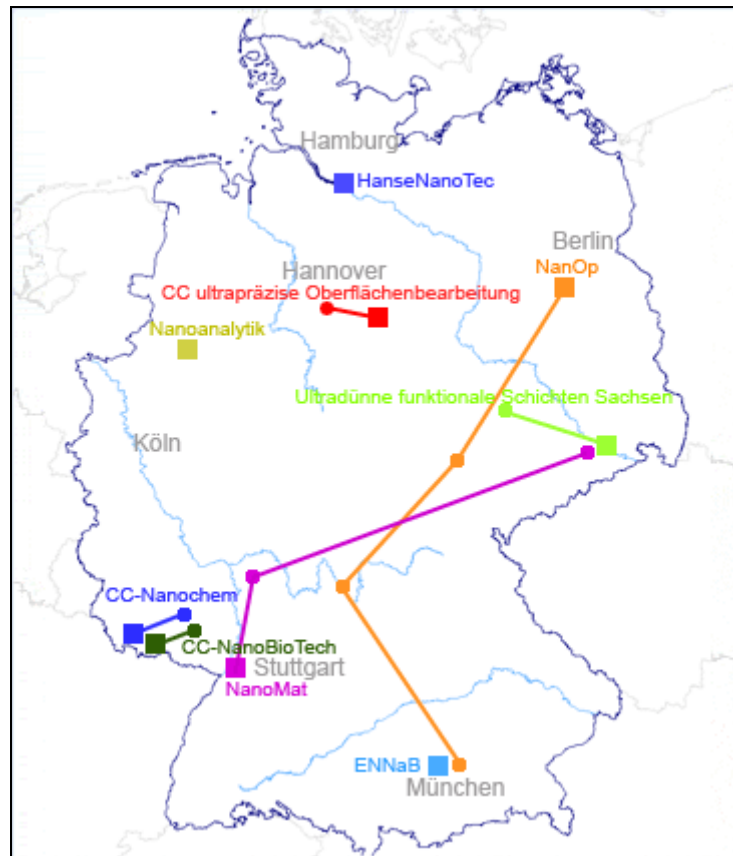


Abbildung 4: Innovationsfeld Nanotechnologie

Jedes einzelne Kompetenzzentrum ist ein Projekt und erhält Mittel vom BMBF. Der Projektträger für die Zentren ist der Verein Deutscher Ingenieure (VDI), welcher als Kontrollinstanz fungiert und einen Mittelsmann zwischen BMBF und den Zentren darstellt. Da dem BMBF die fachlichen Kompetenzen für dieses spezielle Gebiet fehlen, werden diese ‚eingekauft‘; der VDI übernimmt die Vergabe der Mittel. Teilweise ist der VDI nun vom Projektträger Jülich abgelöst worden. Das „Kompetenznetz“ (i. F. auch CN) ist, wie bereits erwähnt, eine Art Meta-Projekt, welches 1998 beim BMBF eine Neuheit darstellte und veränderte Vorgehens- und Organisationsweisen vor allem in den Referaten beanspruchte. Das Meta-Projekt befindet sich z. Zt. in Phase 3. Die erste Phase dauerte von 1998 bis 2001 und diente der Konstituierung der Zentren. In dieser Zeit sowie in der zweiten Phase von 2001 bis 2003 wurden die Zentren und Projekte in vollem Umfang vom BMBF finanziert. Seit 2003 (voraussichtlich bis 2006) gibt es nur noch eine Co-Finanzierung der Projekte mit der Hälfte der Mittel. Ab 2006 sollen sich die Kompetenzzentren in geeigneten Kooperationen selbständig finanzieren. Die Nanotechnologie-Netze in Deutschland sind F&E-Netzwerke

in der Art, wie sie im Phasenmodell für Phase II beschrieben wurden. Das Netz besteht aus verschiedenen Organisationen, die jeweils über bestimmte Personen einer technologischen Gemeinschaft miteinander verbunden sind. Als Netzwerkstruktur ist das Innovationsfeld rein formal (NWA) folgendermaßen darzustellen (vgl. die auf die notwendigen Elemente reduzierte Abbildung 5).

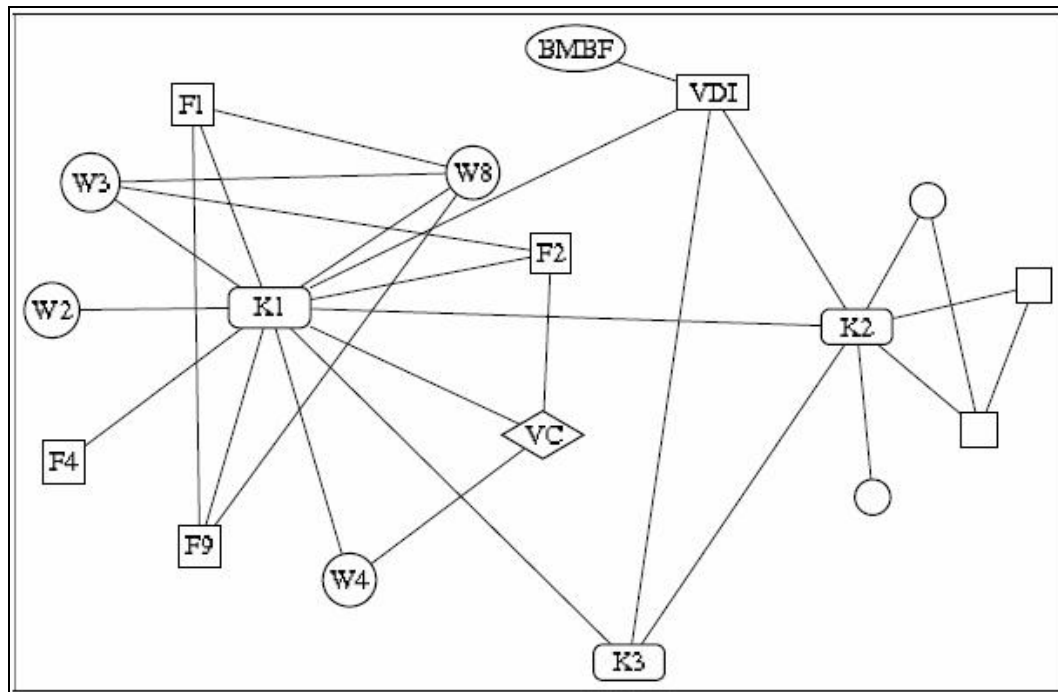


Abbildung 5: Schema Innovationsfeld Nanotechnologie

Die Knoten Kx stellen die jeweiligen Netzwerkkoordinatoren dar. Diese kommunizieren und kooperieren (i. F. auch vereinfacht „besitzen eine Verbindung“ genannt) mit den Mitgliedern der Kompetenzzentren, die entweder aus der Wirtschaft (Wx) oder der Wissenschaft (Fx) stammen oder andere Institutionen vertreten, wie bspw. Banken (VC)²². Die Mitglieder wiederum kommunizieren und kooperieren untereinander oder sind passiv, wie z.B. Mitglied W2. Diese genannten Knoten und Relationen bilden das Netzwerk bspw. das Kompetenznetz NanOp. Weiterhin gibt es Verbindungen, die über die einzelnen Kompetenznetze hinausgehen. Die Netzwerkkoordinatoren sind untereinander und mit dem VDI verbunden. Das VDI wiederum hat Kontakt zum BMBF. Dass auch Verbindungen von Mitgliedern eines Kompetenznetzes zu Mitgliedern eines anderen Kompetenznetzes bestehen können oder von Mitgliedern zum BMBF, kann an dieser Stelle vernachlässigt werden.

Abschließend ist, um die Betrachtung des Phasenmodells zu komplettieren, zu sagen, dass eine Darstellung, wann und wie die Kompetenznetze Phase III und weitere Etappen im Phasenmodell durchlaufen werden, an dieser Stelle verständlicherweise nicht möglich ist, denn die Netze befinden sich z. Zt. höchstens in der zweiten Phase.

6.3 Kompetenznetz NanOp

²² Für NanOp und sicher auch die anderen Kompetenznetze wird nach Firmen, Universitäten und Instituten sowie Management und Finanzierung unterschieden. Vgl. dazu auch **Abbildung 6**.

Entstehung und Struktur

Das Kompetenzzentrum Nanotechnologie in der Optoelektronik²³ wurde, wie alle anderen Zentren auch, im Jahr 1998 gegründet. Die Netzwerkkoordination erfolgt von der Technischen Universität Berlin aus, genauer obliegt die exekutive Koordination (z. Zt.) Dipl.-Phys. M. Kuntz, einem Mitarbeiter der Arbeitsgruppe von Prof. Bimberg am Institut für Festkörperphysik TUB. Diese Arbeitsgruppe beschäftigt sich mit den vier Bereichen Nanomaterialien, Nanophysik, Nanophotonik und Photonische Höchstfrequenz-Messtechnik und fs-Laser. Hinsichtlich der Organisationsstruktur gibt es, abgesehen vom Netzwerkkoordinator, noch ein *Steering Committee* (SC), dessen Vorsitz Prof. em. Walter Heywang innehat. „*The SC will unite national and international experts who continuously accompany the Center's work by consultation on main scientific and application issues, identifying main working areas and key topics.*“ (<http://www.nanop.de>) Ein weiteres Hauptorgan des CC ist das *Management Committee* (MC), bestehend aus vier Mitgliedern unter dem Vorsitz von Prof. Bimberg, welches ich als Legislative bezeichne. Der Netzwerkkoordinator ist sozusagen verantwortlich für die Umsetzung der im MC beschlossenen Aufgaben und getroffenen Entscheidungen. Abgesehen davon, dass im Gegensatz zum Namen Bimberg weder das SC noch das MC in irgendeiner Art und Weise von den Befragten erwähnt wird, ergibt sich auf Nachfrage ein differenziertes Bild. Einerseits wird davon ausgegangen, dass das MC tagt und auf diesem Weg Entscheidungen getroffen werden (I.5 und I.7). Andererseits scheint das MC nicht so stark in Erscheinung zu treten (I.2). Dies würde dann heißen, dass die Beschlüsse zum Management des Kompetenzzentrums auf anderem Weg erfolgen.

Die Entstehung des Kompetenznetzes im Sinne der Freigabe des Projektes ist, wie schon herausgestellt wurde, als institutionelle Festlegung und nicht als selbstorganisierter Prozess, aus dem Netzwerke i.d.R. hervorgehen, zu beschreiben. In Folge dieser Feststellung stellt sich erstens die Frage, ob eine unselbständige Bildung einer Struktur positive Ergebnisse hinsichtlich ihrer Zielstellung liefern kann. D.h. im konkreten Fall, ob NanOp seiner Mediator-Rolle gerecht wird. Es ergibt sich noch die zweite Frage, ob überhaupt von einem Netzwerk gesprochen werden darf. Für die erste Frage sind Art und Mischung der das Netz konstituierenden Elemente sowie weitere jetzt nicht benannte Faktoren von entscheidender Bedeutung. Mit der Planung und Bildung eines Netzwerkes steht seine Effektivität ebenso wenig fest, wie bei der Planung von Innovationen. Zwar können bestimmte Faktoren ein- oder ausgeschlossen werden, die Tendenz zu Ge- oder Misslingen ist jedoch nicht vorhersehbar. Ob NanOp eine erfolgreiche Struktur ist, kann nur an den Ergebnissen gemessen werden, und diese objektiv zu bestimmen, ist eine weitere schwierige Aufgabe, auf die später zurückgekommen werden soll. Zur zweiten Frage lässt sich sagen, dass sich die Bildung des CC unter zwei wichtigen Bedingungen vollzogen hat. Erstens kannten sich die im Netz vorhandenen Akteure zu einem Großteil schon vor 1998, was durch die Interviews belegt wird. Und zweitens war das primäre Ziel des BMBF ‚lediglich‘ eine bessere, d.h. effizientere Koordination der Forschungsförderung – immer mit dem Gedanken verbunden, Forschung und Produktentwicklung in Deutschland voranzubringen. Da sich viele der Mitglieder des Kompetenznetzes bereits kannten, ähnliche Interessen verfolgten und verfolgen und zudem schon vor 1998 miteinander kooperierten, sind die Chancen eines Gelingens deutlich besser. Weiterhin ist nicht auszuschließen, dass sich zu einem späteren Zeitpunkt durch Selbstorganisation ein ähnliches Netzwerk gebildet hätte. Dann würde das Vorgehen des BMBF ein Vorgreifen in der Zeit bedeuten, was wiederum unterschiedlich gewertet werden kann, je nachdem, ob die Bildung des Kompetenzzentrums nützlich war. Ich bin der Meinung (wahrscheinlich im Gegensatz zu Weyer), dass, obwohl das Netzwerk nicht selbstorganisiert entstanden ist, trotzdem von einem Netzwerk gesprochen werden kann.

23 Internetauftritt unter <http://www.nanop.de>.

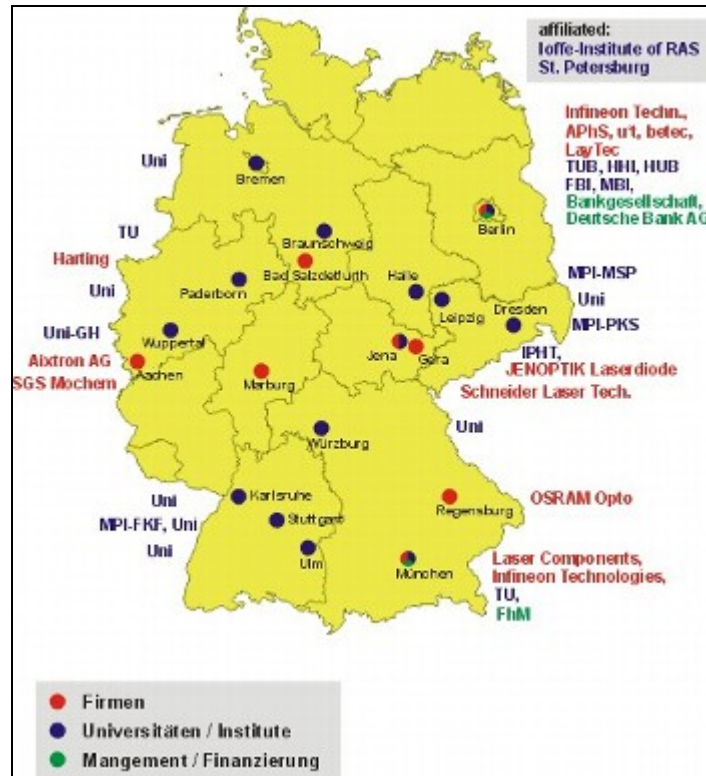


Abbildung 6: Mitglieder NanOp

Die CC sind nationale Netze, die sich auf ein Themenfeld beschränken. NanOp beschäftigt sich mit der Entwicklung und Anwendung von lateralen Nanostrukturen (bspw. Quantenpunkten) und nanoanalytischen Techniken für die Optoelektronik. Ein Schwerpunkt dabei ist die Datenkommunikation (I.1). In der Optoelektronik geht es um Anwendungen der Signalübertragung mittels Licht durch Steuerung des Stroms einer elektrischen Strahlungsquelle. Eine derartige Strahlungsquelle stellen Laserdioden, gleichbedeutend mit Halbleiterlasern dar. Halbleiterlaser werden als optischer Speicher in bspw. CD-Playern, in Laserdruckern, zur Daten- und Telekommunikation (optische Netze, Glasfasernetzwerk) und als Laserpointer oder (zukünftig) für Laser-TV verwendet. NanOp erforscht eine bestimmte Art von Lasern, die Quantenpunktlaser, welche aus sog. Quantenpunkten bestehen. Gegenüber herkömmlichen Halbleiterlasern gibt es verschiedene Vorteile, z.B. weniger Stromverbrauch, preiswertere Materialien und Eignung für schnelle Datenübertragung (Kuntz 2004). Die Quantenpunkte werden im Gegensatz zur Strukturierung, also dem Top-Down-Prinzip, durch Selbstorganisation erzeugt. Dieses selbstorganisierte Wachstum ist, abgesehen von den Maßen der Quantenpunkte, der eigentlich nanotechnologische Anteil an den Quantenpunkten. Den Mitgliedern von NanOp geht es darum, das Gebiet der Quantenpunkte zu erforschen, d.h. Quantenpunkte herzustellen, zu analysieren und zu verbessern. So wäre in Zukunft zu untersuchen, ob Quantenpunktbaulemente entwickelt werden können, die dann den industriellen Anforderungen genügen und in Massenproduktion hergestellt werden können. Die Mitgliedschaft im Netz, was sicherlich einen Diskussionspunkt darstellt, wenn es sich tatsächlich um ein Netzwerk handelt, ist für seine Mitglieder kostenfrei, von beliebiger Dauer und ohne Verpflichtungen. Die Teilnahme an Veranstaltungen und anderen Aktivitäten ist folglich freiwillig und meist nur durch eine Vertraulichkeitserklärung der anwesenden Akteure abgesichert. Insofern kann das Netz als ein lockerer Verbund von Unternehmen, Universitäten und anderen Organisationen angesehen werden (vgl.

Abbildung 6). Obwohl die Liste der Mitglieder, die im Übrigen gar nicht alle ‚Nano‘ sind (I.1), ziemlich umfangreich ist (lt. Selbstdarstellung im Internet sind es 44), bedeutet das jedoch nicht, dass alle Mitglieder ständig aktiv im Netz mitarbeiten. So bezeichnet sich bspw. ein Unternehmen bei der Kontaktaufnahme zur Durchführung von Interviews als „Karteileiche“. Andere Unternehmen gehen nicht so weit, beschreiben ihre Mitgliedschaft aber als peripher oder passiv. Die passive Mitgliedschaft von Unternehmen wird z.B. damit begründet, dass interne Ausrichtungen der Unternehmen sich thematisch nicht (mehr) mit den Interessen von NanOp decken. Auch beteiligte Forschungsinstitutionen geben an, dass sie, in manchen Fällen mit dem Zusatz „nur noch“, wenig mit NanOp zu tun haben. Dies kann auf andere Forschungsschwerpunkte als die von NanOp zurückzuführen sein. Denn während sich NanOp auf Quantenpunkte spezialisiert hat, welche auf Basis von Galliumarsenid²⁴ hergestellt werden, verwenden andere Forschungseinrichtungen Indiumphosphid oder Galliumnitrid oder beschäftigen sich nicht mit Quantenpunkten („Quantendots“), sondern mit Halbleiterschichtstrukturen („Quantenwells“). Andererseits ist eine ständige aktive Mitgliedschaft gar nicht erforderlich, denn die Projekte werden dann initiiert, wenn die Mitglieder das Interesse haben. Die einzelnen Organisationen haben jeweils einen Ansprechpartner, der sich um die Angelegenheiten im Zusammenhang mit NanOp kümmert. In den meisten Fällen handelt es sich dabei um Physiker. Außer Physikern sind noch Chemiker und einige Ingenieure vertreten. Dass generell keine hohe Interdisziplinarität bei NanOp herrscht, liegt am Themenfeld. So sagt ein Befragter: „Quantendots sind tiefe Physik.“ (I.3) und weiter heißt es, dass die Einflüsse anderer Disziplinen für die Arbeit kaum wertvoll sind (I.1). Einmal im Jahr findet eine Mitgliederversammlung statt. Der Netzwerkkoordinator trifft sich unabhängig davon in regelmäßigen Abständen noch mit den anderen Koordinatoren und dem BMBF. Abgesehen von dem Mitgliedertreffen, bei dem nicht immer alle Mitglieder dabei sind, gibt es kaum – ich nenne es offizielle, weil NanOp-bezogene – Kommunikation (I.2, I.6). Lediglich Rundmails werden von NanOp verschickt oder ab und zu werden Telefonate geführt (I.7). Die Kommunikation verstärkt sich immer dann oder setzt immer dann ein, wenn gemeinsame Projekte geplant und durchgeführt werden. Abgesehen von den offiziellen Treffen und der formalen Kommunikation treffen sich die Mitglieder von NanOp auch auf anderen Tagungen, Messen oder netzwerkartigen Zusammenhängen außerhalb von NanOp und tauschen dort Informationen aus. Daraus können sich ebenfalls Projektideen für NanOp ergeben. Mit Blick auf den Netzwerkcharakter und die Mitgliedschaft bei NanOp sei an den *cycle of learning* (Powell/Koput/Smith-Doerr 1996) erinnert, der verdeutlicht, dass bei jungen Technologien die Quelle der Innovationen in Interorganisationsnetzwerken zu finden ist.

Dynamik

Die ‚Dynamik‘ des Kompetenznetzes besteht in der Durchführung von Projekten – in der Kooperation, die das Netzwerk ausmacht. Die Projekte, welche beantragt werden, sind reine Forschungsprojekte. Zwar unterstützt das BMBF lt. Kompetenznetzkonzept die Kooperation entlang der Wertschöpfungskette, darf aber nur „bis kurz vor das Produkt fördern“ (I.4) und die Entwicklung der Produkte erfolgt dann unabhängig vom BMBF in bspw. den Unternehmen (I.5). Der Vorteil für Projekte, welche über NanOp beantragt werden, ist der, dass das CC-Etikett dem Projekt erhöhte Priorität gegenüber anderen Anträgen einräumt. Seit Beginn von NanOp haben sich die Inhalte der Projekte von der reinen Forschung zu mehr Produktorientierung verschoben. Außerdem ist auch aufgrund dieser Tatsache in den Projekten die Beteiligung der Industrie gegenüber der von Universitäten gestie-

24 Ein III-V-Halbleiter, wobei III und V auf die Hauptgruppen im Periodensystem der Elemente hinweist. Gallium gehört der Hauptgruppe III an und Arsen der Hauptgruppe V.

gen. Wie bereits dargestellt, wird im Kompetenznetz NanOp an Quantenpunkten geforscht. Das Vorgehen kann in groben Zügen so beschrieben werden: Es werden zuerst die interessierenden Strukturen simuliert, anschließend werden diese hergestellt und zuletzt erfolgt eine Prüfung der hergestellten Strukturen (I.6). Zu jedem Arbeitsschritt gibt es in NanOp unterschiedliche Akteure. Es gibt einige Anlagenbauer, welche die nötigen Maschinen liefern, mit denen die Nanostrukturen hergestellt werden. Es gibt die Hersteller, z.B. die TUB. Und es gibt eine Reihe von Analysten, die ihre Methoden auf die gefertigten Strukturen anwenden können. Jeder Akteur verspricht sich von derartigen Kooperationen Lerneffekte für sein Gebiet. Die Anlagenbauer wollen ihre Maschinen verbessern oder neu entwerfen und die Analytiker möchten ihre Methoden testen und erweitern. Durch den Austausch der jeweiligen Ergebnisse profitiert jeder Akteur von der Kooperation. Die Projekte können je nach Zielsetzung unterschiedliche Gestalt annehmen und sind durch Kooperationsverträge geregelt. Vor allem unterscheiden sie sich in ihrem Umfang. In größeren Projekten herrscht ein Mix aus unterschiedlichen heterogenen Mitgliedern. Die kleinen Unternehmen, die sich eigene Forschung nicht leisten können und daher auf die Mitgliedschaft bei NanOp setzen, sind mit einem derartigen Akteurs-Mix zufrieden, denn so sehen sie auch die Interessen der Industrie vertreten (I.3). Andererseits bedeutet ein Akteurs-Mix in den Zeiten einer nur 50%-igen Förderung, dass die Unternehmen in den Projekten die zweite Hälfte der Kosten übernehmen müssen, da Forschungsinstitute i.d.R. über wenig finanzielle Mittel verfügen. In kleineren Projekten bspw. sog. Machbarkeitsstudien spielt die Mischung von unterschiedlichen Partnern keine Rolle (I.5). Theoretisch entstehen Innovationen im Netzwerk als emergentes Produkt der speziellen heterogenen verteilten Aktivitäten. Im Fall der Kompetenznetze ist es aber so, dass zwar eine Vernetzung der Akteure vorliegt, aber die eigentliche Kooperation in den Projekten stattfindet. Und daher entstehen die Innovationen nicht direkt im Netz, sondern über das Netz vermittelt in den Projekten oder bei der Auswertung der Projektergebnisse. Werden die Projekte als Kooperationsform des Netzes angesehen, so kann dennoch behauptet werden, dass die Innovationen im Netz entstehen. Auf die Praxis bezogen sind die Befragten ziemlich vorsichtig mit Prognosen, was Innovationen angeht. So seien z.B. radikale Innovationen in den Projekten nicht zu erwarten (I.1). Übereinstimmend werden Quantenpunkte als innovativ angesehen. Jedoch wird einschränkend hinzugefügt, dass diese nur ein Substitut für bestehende Halbleiter sind und ein anderes Mal, dass die Gruppe von Prof. Bimberg an der Erfindung der Quantenpunkte lediglich beteiligt war (I.2 und I.4). Obwohl sie ein Substitut darstellen, wird den Quantenpunkten zugesprochen, dass sie anders als andere Halbleiter einsetzbar sind und die Grundlage für zuverlässigere Bauelemente bilden (I.4). Die Projekte in NanOp werden dafür genutzt, inkrementelle Verbesserungen bestehender Produkte und Prozesse zu erreichen. Produkte sind hierbei keine Endprodukte für Anwender, wie Laser-TV, sondern bspw. die Anlagen zur Herstellung der Nanostrukturen oder einzelne Bauelemente. Die Prozesse sind bspw. Methoden und Analyseverfahren, mit denen die Strukturen untersucht werden. Diese inkrementellen Innovationen werden tatsächlich erreicht, wie aus I.5 und I.7 deutlich hervorgeht und in anderen Interviews ebenfalls angeklungen ist. Im Zuge der jetzigen Entwicklung der Kompetenzzentren ist (lt. I.1 und Rieke/ Bachmann 2004: 34) ein Trend zur Regionalisierung zu beobachten. Dies ist bei NanOp einleuchtend, denn Berlin ist ein starker Standort für Optoelektronik. Vor allem im Wissenschaftsstandort Berlin-Adlershof sind viele Unternehmen und Forschungsstätten angesiedelt sowie das bereits erwähnte Netz OptecBB, dessen Koordinationsstelle sich ebenfalls in Adlershof befindet. Dieser Trend wird als positiv angesehen, da dadurch eine thematische Konzentration von (Nano-)Wissen in einer Region stattfindet. Erinnt sei an Powells Untersuchungsergebnis, dass geografische Dichte positive Auswirkungen auf den Informationsfluss und damit Wissenserweiterung und Lernen hat (Owen-

Smith/Powell 2004). Außerdem ist in der jetzigen dritten Phase der Förderung die Aufspaltung der Kompetenzzentren in Anlehnung an „regionale Inkubatoren“ (I.1) beabsichtigt. Denn das „Kompetenznetz“ Nanotechnologie befindet sich im Wandel.

Re-Orientierung des Innovationsfeldes

Nach dem gegenwärtigen Projekt-Stand (Phase 3 seit Herbst 2003) haben sich Details im Konzept Kompetenznetz Nanotechnologie verändert. Hervorzuheben ist, dass „neun Kompetenzzentren als bundesweit thematische Netzwerke mit regionalen Clustern [...] ihre Arbeit fortgesetzt bzw. neu aufgenommen“ (Rieke/Bachmann 2004: 16) haben. Die neuen vor allem durch die Aufspaltung des CC Nanoanalytik entstandenen Kompetenzzentren sind (vgl. Hamann u.a. 2004: 117ff.)²⁵:

- HanseNanoTec (Hamburg),
- Nanoanalytik (Münster),
- NanoBioTech (Kaiserslautern),
- NanoChem Saarbrücken,
- NanoMat Karlsruhe,
- NanOp (Berlin),
- Ultrapräzise Oberflächenbearbeitung e.V. Braunschweig,
- Ultradünne funktionale Schichten Sachsen (Dresden/Chemnitz) und
- ENNaB – Excellence Network NanoBio (München).

Das Feld Nanotechnologie wird, wie bereits ausgeführt, auch als Innovationsfeld bezeichnet. Verschiedene Kernregionen des Netzes sind den sog. Innovationsregionen oder auch Forschungsclustern zuzuordnen. Das bedeutet, dass NanOp bspw. dem Innovationsfeld Nanotechnologie angehört und in der Innovationsregion Berlin-Brandenburg angesiedelt ist. Es scheint, als ob die Kompetenznetze Nanotechnologie einer Fundierung und Koordinierung der Forschungstätigkeiten dienen sollten, um nun eine Art industrielle Distrikte zu bilden. Das hätte einerseits ein Ende der nationalen Kooperationen zur Folge. Auf der anderen Seite wird die ‚Kompetenzen-Idee‘ konkretisiert und es kommt zu einer Re-Orientierung im Feld Nanotechnologie. Dabei spielt vor allem der Begriff der „Leitinnovation“ eine bedeutende Rolle. Da Deutschland zwar führend in Nanowissenschaften ist, jedoch Nachholbedarf in der industriellen Umsetzung hat (lt. I.1 und auch Rieke/Bachmann 2004: 21), wird eine Neuausrichtung der BMBF-Nanotechnologieförderung angestrebt. „Leitinnovationen werden als Verbundprojekte zwischen Partnern aus Wirtschaft und Wissenschaft gefördert.“ (Rieke/Bachmann 2004: 28) Dabei sollen sich Leitinnovationen hauptsächlich an relevanten Anwendungen und in Deutschland starken Industriebranchen (bspw. Automobilindustrie und optische Industrie) orientieren. „Reine Nischenentwicklungen ohne Potenzial für eine spätere Breitenentwicklung werden im Rahmen dieser Leitinnovationen nicht berücksichtigt“ (BMBF 2004). Ziel ist, wie bei den Kompetenznetzen, eine deutschlandweite Vernetzung der Akteure, die entlang einer Wertschöpfungskette vorhanden sind. Die angestoßenen Projekte sind dabei als langfristige Kooperationen (ca. 5 Jahre) mit Fokussierung auf Produkterstellung einzuschätzen. Vorteile dieser gemeinsamen Innovationsanstrengungen sollen u.a. kürzere Produktionszyklen und Kosten- und Risikoteilung sein. Die Leitinnovationen stellen, so denke ich, eine fokussierte Fortführung der nationalen Nanotechnologieförderung dar. Beispiel für ein solches Projekt bzw. solch eine Leitinnovation ist „NanoMobil“ (vgl. dazu Rieke/Bachmann 2004: 31). Mit dieser Leitinnovation „sollen nanotechnologische Effekte für mehr Umweltverträglichkeit, Sicherheit und Wirtschaft-

25 In dieser Quelle sind nur acht CC dargestellt, aber aus Interview 1 und <http://www.kompetenznetze.de> hat sich die zusätzliche Information ergeben.

lichkeit im Automobilbereich nutzbar gemacht werden“ (BMBF 2004). NanoMobil soll vor allem auf Nachhaltigkeit, Sicherheit und Komfort abzielen. Einige Ideen dieser Leitinnovation werden schon umgesetzt und Nanotechnologie ist stärker in Automobilen vertreten, als i. A. erwartet wird, z.B. Nano-Rußpartikel in den Reifen, LEDs im Scheinwerfer, Wärme reflektierende Verglasung u. v. m.²⁶. Von einem Paradigmenwechsel, wie ihn sich das BMBF vorstellt, kann jedoch m. E. noch nicht gesprochen werden.

7. Innovationsnetzwerk Nanotechnologie?

Die Frage, ob es sich bei NanOp um ein Innovationsnetzwerk handelt, soll zunächst zurückgestellt werden, um vorerst die Struktur Netzwerk vor Augen zu führen. Dabei sollen vor allem die Punkte Entstehung, Zentralismus, Zusammenhalt und Bindungsmechanismen diskutiert werden.

Ich vertrete die Meinung, dass, obwohl das Netzwerk NanOp durch eine ‚Institutionalisierung‘ entstanden ist, von einem Netzwerk die Rede sein kann. Das Netzwerk besteht aus dem Netzwerkkoordinator und einer Anzahl heterogener Akteure, wie Firmen, Universitäten, Forschungsinstituten. Bei der Betrachtung des Netzes ist deutlich zu erkennen, dass dem Netzwerkkoordinator eine zentrale Stellung zukommt. Daher spricht der Netzwerkkoordinator selbst auch von Zentralismus, denn er hat die exekutive Gewalt. Die formale Analyse des Netzes NanOp nach den Gesichtspunkten Status und Nähe verdeutlicht diese Zentralität noch einmal. Die Mitglieder werden, so die Auswertung der Interviews, i. A. als gleichberechtigt angesehen. Es gibt zwar „starke Partner“ wie OSRAM, die ein so genannter ‚Leuchtturm‘ sind und ihre Interessen zwar bestimmt vertreten, nicht aber das Netz dominieren (I.4). In den Interviews wird Herr Bimberg oft als zentrale Figur und als jemand, ohne den NanOp nicht denkbar wäre, beschrieben. Da der Netzwerkkoordinator mit Herrn Bimberg (an der TUB) eng zusammenarbeitet, kann nicht ausgeschlossen werden, dass die zentrale Stellung des Koordinators Vorteile für Herrn Bimberg bringt oder dass seine Interessen stärker berücksichtigt werden. Ob das positive oder negative Auswirkungen hat, hängt von der Perspektive ab, die eingenommen wird. Für NanOp bzw. die Forschung an Quantenpunkten hätte es positive Auswirkungen, denn dafür engagiert sich Herr Bimberg. Auch für die Organisationen und Institute, die Herr Bimberg einbezieht, würden sich Vorteile ergeben. Negative oder gar keine Auswirkungen würden nur die Mitglieder spüren, die mit diesem Themenfeld nicht in Berührung kommen. Dominanz eines Akteurs muss nicht unbedingt, kann aber Netzwerkversagen hervorrufen. Im folgenden Kapitel wird dazu eine Einschätzung vorgenommen. Da es sich bei den Kompetenznetzen um ein Konzept des BMBF zur Forschungsgeldvergabe handelt und dies immer in irgendeiner Art und Weise an Formalien geknüpft ist, müssen diejenigen Organisationen, die Geld über NanOp bekommen wollen, Mitglied im Kompetenznetz sein. Das Netz wird also erstens über den Faktor Mitgliedschaft zusammengehalten. Weiterer Zusammenhalt wird zweitens über die technologische Gemeinschaft, der hier vorrangig Physiker angehören, die sich mit Optoelektronik beschäftigen und ihre jeweilige Institution repräsentieren, erreicht. Und drittens binden sich die Akteure über gemeinsame Projekte aneinander, die nur im Netzwerk gefördert werden. Kooperation und Kommunikation sind die übergeordneten Faktoren, die als Bindungsmechanismen hervortreten. Neben NanOp gibt es noch eine Reihe weiterer Kompetenznetze, was darauf hinweist, dass das Netzwerk die dominante

26 Vgl. http://www.nanotruck.net/de/set_themen/nanomobil.htm.

Koordinationsform im Feld Nanotechnologie zu sein scheint. Die Koordination über den Markt, d.h. über Verträge, Preise und Argwohn ist schwer zu realisieren, da in dem in dieser Arbeit beschriebenen Bereich überhaupt noch kein Markt existiert. Koordination über Organisation, also über Bürokratie und Hierarchie kann ebenfalls nicht identifiziert werden. Allenfalls ließe sich eine pyramidenartige Struktur entwerfen, in der oben das BMBF steht, gefolgt vom ausführenden Organ dem VDI, dem auf einer dritten Ebene die Netzwerkkordinatoren unterstehen und auf der untersten Ebene die übrigen Akteure folgen. Tatsächlich existiert eine derartige Struktur, aber das BMBF ist nicht weisungsberechtigt und verteilt nicht die Aufgaben auf die unteren Ebenen. Hierin liegt ein wichtiger Unterschied zu herkömmlichen Organisationen als Koordinationsform. Die pyramidenförmige Struktur bedeutet lediglich, dass Geld vom BMBF über den VDI verteilt wird und dieser als Entscheidungsgremium in gewisser Hinsicht Macht besitzt.

Abgesehen davon, dass im Feld Nanotechnologie Netzwerke gebildet wurden, um Zusammenarbeit auf bestmöglichem Weg zu realisieren und damit ein großes Kooperationsnetz Nanotechnologie bilden, stellen sich folgende Fragen: Wozu sind diese Netze fähig? Sind es Innovationsnetzwerke? Sind diese Kooperationsnetze Verkörperungen des neuen Innovationsregimes? Die Beantwortung dieser Fragen sollte zwei miteinander verwobene Aspekte berücksichtigen, nämlich einerseits, ob die BMBF-Initiative sinnvoll war bzw. ist. Dies zu untersuchen war zwar nicht erklärtes Ziel dieser Arbeit, hat sich aber als Fragestellung herausgebildet. Andererseits, und dies betrifft wieder die Ausgangsfragestellung, ist zu zeigen, ob die Netze Innovationen hervorbringen. Die Idee des BMBF, Kompetenznetze als Förderkonzept einzuführen, ist meiner Meinung nach als positiv anzusehen. Dagegengehalten werden muss, dass Kompetenznetze nicht das Allheilmittel sind und daher bei jedem neuen Förderfall zwischen mehreren Konzepten und Methoden gewählt werden sollte. Diese Aufgabe übernehmen zu einem Teil die Antragsteller selbst, indem sie nach geeigneten Fördervarianten suchen. Der Fokus des BMBF lag von vornherein nicht auf der Generierung von radikalen Innovationen, zumal radikale Innovationen in der Regel spontan und ungeplant eintreten. Sondern das erklärte Ziel war die Verbindung der Akteure um letztendlich die Weichen für marktfähige Produkte zu stellen. Innovation setzt beim BMBF immer noch Kommerzialisierung und breite Adaption voraus. Die o.g. Leitinnovationen sind nochmals Beleg dafür. Erstens wird dabei auf eine spätere industrielle Umsetzung fokussiert und zweitens deshalb auf starke Branchen gesetzt. Die Zielsetzung, mit NanOp eine verstärkte und fokussierte Kommunikation und Kooperation zu erreichen, wurde lt. Interviews erfüllt. Als vorteilhaft wurde vor allem erwähnt, dass ein konkreter Ansprechpartner vorhanden ist und dass mit NanOp eine Art Forum existiert. Außerdem sei, bevor das Netz gegründet wurde, die Projektablehnungsquote höher gewesen. Diese sei nun gesunken, da die Projekte im Netz besser koordiniert und geplant werden können. Das Kompetenznetz NanOp hat weiterhin einige Firmenausgründungen erreicht, darunter bspw. NL Nanosemiconductor GmbH. Und obwohl keine radikalen Innovationen zu erwarten sind, so haben die Akteure doch ihre Gewinne in Form inkrementeller Innovationen aus der Mitgliedschaft im Kompetenznetz gezogen. Meiner Ansicht nach wurden in der bisherigen Zeit des Kompetenznetzes gute Forschungsergebnisse erzielt, aber auf marktfähige Produkte wird, zumindest für den Fall NanOp, noch zu warten sein. So ist die Entwicklung der Quantenpunkte noch weit vom Laser-TV entfernt. Das BMBF hat, abseits von jeglicher Kritik der Umsetzung, drei Sachen verstanden. Erstens ist die Forschung heutzutage und insbesondere bei Nanotechnologie eng mit der Entwicklung und Produktion verbunden. Zweitens ist daher ein entsprechendes Förderkonzept zu entwickeln. Drittens, und an dieser Stelle trifft sich die Idee der Forschungsförderung durch Kompetenznetze mit den Anforderungen an ein neues Innovationsregime, sind heterogene Netzwerke eine passende Lösung,

um Forschung voranzutreiben und um Innovationen zu fördern. Ich habe im Laufe der Analyse festgestellt, dass NanOp eine Netzwerkstruktur hat. Es gibt die Tendenz, dass das Netzwerk zentralistisch, aber nicht uneffektiv arbeitet. NanOp ist im Sinne der Zielsetzung des BMBF (effizientere Koordination und Kommunikation) erfolgreich, auch wenn sich eine Benachteiligung von einzelnen Mitgliedern einstellt. Das Netzwerk wurde gebildet, um die Forschung voranzutreiben und mit der Entwicklung zu verknüpfen.

Innovationen, wenn auch nur inkrementeller Art, entstehen in den durchgeführten Projekten. Die Projekte werden im Rahmen von NanOp durchgeführt und sind in dem Sinn eine Form der Kooperation im Netz. Die Innovationen entstehen demnach im Netzwerk NanOp. Und – so meine Auffassung – gibt es keinen Grund, bei dem Kompetenznetz Nanotechnologie in der Optoelektronik nicht von einem Innovationsnetzwerk zu sprechen. Wenn davon ausgegangen wird, dass die anderen Kompetenznetze ähnlich arbeiten, so lässt sich verallgemeinern, dass die Kompetenznetze der Nanotechnologie Innovationsnetzwerke sind.

8. Fazit

Dass Nanotechnik eine Technologie ist und in erwähnter Art und Weise mit Innovation zusammenhängt, kann meiner Meinung nach empirisch nachvollzogen werden. Der Begriff Nanotechnologie kann in der Empirie vieles bedeuten. Erstens kann damit missverständlich Nanotechnik gemeint sein. Zweitens ist Nanotechnologie ein Technologiefeld und drittens ein theoretisches Konstrukt, eine Idee, eine Fassung für Visionen. Ähnlich wie es für *communities of practice* (vgl. Wenger 1998) behauptet werden kann, die es wahrscheinlich schon vor dem Entwurf von *communities of practice* gab, ist die begriffliche und konzeptionelle Fassung von Nanotechnologie nötig, um sich mit dem Feld und der Technik auseinanderzusetzen. Dies ist der Grund, warum die Kreation eines Begriffes wie Nanotechnologie nötig ist. Leider wird dann oft vorschnell geurteilt: Nanotechnologie gibt es überhaupt nicht. Ich bin der Meinung, es gibt sie und habe mich in einem ersten Versuch darum bemüht, dies empirisch nachzuweisen. Das CC NanOp ist eins von neun Kompetenzzentren in Deutschland. Während der Interviews und der Beschäftigung mit der Thematik ist mir aufgefallen, dass NanOp kein Repräsentant für alle Kompetenzzentren in Deutschland sein kann. Die Gründe dafür sind die je unterschiedlichen thematischen Ausrichtungen, die unterschiedlich starke Interdisziplinarität und die unterschiedlichen Fortschritte auf den jeweiligen Forschungsgebieten, womit eine ungleiche Stellung, d.h. ein ungleicher Fortschritt im Phasenmodell verbunden ist. Wird NanOp aber nur unter dem Gesichtspunkt betrachtet, dass es sich um ein Innovationsnetzwerk handelt, so kann meiner Meinung nach von Vergleichbarkeit gesprochen werden. Wie effektiv das Netz schließlich arbeitet, ist wiederum von den jeweiligen Faktoren abhängig. Das Innovationsnetzwerk wird in dieser Arbeit als Verkörperung eines neuen Innovationsregimes angesehen und es wurde mit einem F&E-Netzwerk gleichgesetzt. Dies ist nach meiner Überlegung eine unvollständige Betrachtung. Es sollte überlegt werden, inwiefern es unterschiedliche Ausprägungen von Innovationsnetzwerken geben kann. Denn auch, wie im Text besprochen und abgelehnt, könnte das soziale Netzwerk aus dem Technikgenesemodell Weyers als Innovationsnetzwerk betrachtet werden. Und gleichwohl stellen Kowol und Krohn Zulieferer-Hersteller-Anwender-Beziehungen als Innovationsnetzwerk im Werkzeugmaschinenbau dar, mit dem Innovationsblockaden überwunden werden (Kowol/Krohn 1995). In Anlehnung an diese Aussagen könnte eine Klassifikation von Innovationsnetzwerken erfolgen. Es gibt a) Netzwerke, die

eine Innovation zur Technik führen, b) Netzwerke, die Innovationen hervorbringen und c) Netzwerke, die Innovationen auf dem Markt etablieren. Aus einer anderen Perspektive hängen diese drei Typen zusammen, denn die Reihenfolge von a, b und c kann als zeitliche Folge einer Produktentwicklung verstanden werden. Wird diese Auffassung akzeptiert, so musste sich diese Arbeit aus genannten Gründen auf die ersten beiden Schritte beschränken. Anhand dieser beiden Schritte konnte für NanOp gezeigt werden, dass es sich bei diesem Kompetenznetz um ein Innovationsnetzwerk und (unter Einbezug der Diskussion dieser Ziffer) konkret um ein Innovationsnetzwerk in Form eines F&E-Netzwerks handelt. Im Technologiefeld Nanotechnologie in Deutschland gibt es, die Aussage verallgemeinernd, mehrere Innovationsnetzwerke, die eine Art Kooperationsnetz Nanotechnologie bilden. Insofern kann in Bezug auf die Fragestellung dieser Arbeit behauptet werden, dass zwar nicht das gesamte Kooperationsnetz Nanotechnologie, aber die einzelnen Kooperationsnetze in Form der Kompetenznetze Nanotechnologie Typen der Innovation durch Netzwerk sind, also des Typs, der ein neues Innovationsregime verkörpert.

Literatur

- Alivisatos, A. Paul. 2001. Nanopartikel im Kampf gegen Krankheiten. In: Spektrum der Wissenschaft Spezial. Nanotechnologie. 2/2001, S. 56-63.
- Bachmann, Gerd. 1998. Innovationsschub aus dem Nanokosmos. Düsseldorf: VDI-Technologiezentrum.
- Bachmann, Gerd. 2004. Nanotechnologie: Forschung und Entwicklung.
<http://www.kompetenznetze.de/navi/de/innovationsfelder/nanotechnologie/05forschung-und-entwicklung.html> (Download 15.07.2004)
- Baumann, Zygmunt. 1995. Moderne und Ambivalenz. Frankfurt am Main: Fischer.
- Baumann, Zygmunt. 1999. Unbehagen in der Postmoderne. Hamburg: Hamburger Edition.
- Bear, Greg. 1985. Blutmusik. München: Heyne.
- Beck, Ulrich. 1996. Das Zeitalter der Nebenfolgen und die Politisierung der Moderne. In: Beck, Ulrich, Anthony Giddens und Scott Lash. Reflexive Modernisierung. Eine Kontroverse. Frankfurt am Main: Suhrkamp. S. 19-112.
- Bijker, Wiebe E. 1995. Sociohistorical Technology Studies. In: Jansanoff, Sheila u. a. (Hrsg.). Handbook of Science and Technology Studies. London.
- BMBF. 2004. NanoMobil. <http://www.bmbf.de/de/1846.php> (Download 16.11.2004)
- Boeing, Niels. 2004. Die Wahrheit über Nanotechnologie. In: Technology Review. Nr. 5 (2004). S. 20-38.
- Brooks, Harvey. 1982. Social and Technological Innovation. In: Lundstedt, Sven B. und E. William Golglazier Jr. Managing Innovation. The Social Dimensions of Creating, Invention and Technology. New York, Oxford, Toronto, Sydney, Paris, Frankfurt am Main: Pergamon Press. S. 1-30.
- Crichton, Michael. 2002. Beute. Augsburg: Weltbild.
- Constant II, Edward W. 1987. The Social Locus of Technological Practice: Community, System, or Organization?. In: Bijker, Wiebe E., Thomas P. Hughes und Trevor J. Pinch (Hrsg.). The Social Construction of Technological Systems: New Directions in the Sociology and History of Technology. Cambridge, Massachusetts u.a.: MIT Press. S. 223-242.
- Degele, Nina. 2002. Einführung in die Techniksoziologie. München: W. Fink Verlag.
- Dosi, Giovanni. 1982. Technological paradigms and technological trajectories. In: Research Policy Vol. 11 (1982), S. 147-162.
- Drexler, Eric K. 1986. Engines of Creation. New York: Anchor.
- Drexler, Eric K. 2001. Das molekulare Fliessband. In: Spektrum der Wissenschaft Spezial. Nanotechnologie. 2/2001, S. 64/65.
- Endruweit, Günter. 1999. Beiträge zur Soziologie. Bd III. Industrie- und Arbeitssoziologie, Organisationssoziologie, Techniksoziologie. Kiel: Institut für Soziologie.
- Feynman, Richard. 1959. There's Plenty of Room at the Bottom.
<http://www.zyvex.com/nanotech/feynman.html> (Download 19.11.2003).
- Garud, Raghu und Peter Karnoe 2003. Bricolage versus breakthrough: distributed and embedded agency in technology entrepreneurship. In: Research Policy. Vol. 32 (2003), Nr. 2, S. 277-300.

- Glötz, Peter. 2001. Die beschleunigte Gesellschaft. Reinbek: Rowohlt.
- Hage, Jerald. 2003. A Contingency Theory of Innovation Regime and Appropriate Institutional Concept (unveröffentlichter Artikel)
<http://www.tilburguniversity.nl/faculties/fsw/departments/os/research/colloquium/jh1.pdf> (Download 10.01.2005)
- Hamann, Ocke u.a. 2004. kompetenznetze.de: Networks of Competence in Germany 2004/2005. Düsseldorf: VDI-Technologiezentrum GmbH.
- Hughes, Thomas P. 1982. Conservative and Radical Technologies. In: Lundstedt, Sven B. und E. William Golglazier Jr. Managing Innovation. The Social Dimensions of Creating, Invention and Technology. New York, Oxford, Toronto, Sydney, Paris, Frankfurt am Main: Pergamon Press. S. 31-44.
- Hullmann, Angela. 2001. Internationaler Wissenstransfer und technischer Wandel: Bedeutung, Einflussfaktoren und Ausblick auf technologiepolitische Implikationen am Beispiel der Nanotechnologie in Deutschland. In: Technik, Wirtschaft und Politik. Schriftenreihe Fh-ISI 45. Heidelberg: Physica.
- Ilfrisch, Thomas. 2003. Nano + Mikrotech. Entwicklung der Nano- und Mikrotechnologie. Berlin: ivcon.net Corp.
- Jansen, Dorothea. 1999. Einführung in die Netzwerkanalyse: Grundlagen, Methoden, Anwendungen. Opladen: Leske + Budrich. S. 11-120.
- Joy, Billy. 2000. Why the future doesn't need us. In: Wired, Ausgabe 8.04.
http://www.wired.com/wired/archive/8.04/joy_pr.html (Download 19.11.2003).
- Kappelhoff, Peter. 1999. Der Netzwerkansatz als konzeptueller Rahmen für eine Theorie interorganisationaler Netzwerke. In: Sydow, Jörg und Arnold Windeler (Hrsg.). Steuerung von Netzwerken. Konzepte und Praktiken. Opladen/Wiesbaden: Westdeutscher Verlag.
- Kowol, Uli und Wolfgang Krohn. 1995. Innovationsnetzwerke. In: Halfmann, Jost, Gotthard Bechmann und Werner Rammert (Hrsg.). Technik und Gesellschaft. Jb 8. Frankfurt am Main, New York: Campus. S. 77-105.
- Krücken, Georg und Frank Meier. 2003. „Wir sind alle überzeugte Netzwerktäter“. In: Soziale Welt 54, S. 71-92.
- Kuntz, Matthias. 2004. NanoPhotonik: Nanostrukturen in der Kommunikationstechnologie. (Vortragsfolien Sommer 2004 TUB).
http://www.nanop.de/dateien/_englisch/publi/_lect/SommerUni2004/_NanOp.pdf (Download 04.01.05)
- Lundvall, Bengt-Ake. 1992. Introduction. In: Ders. (Hrsg.). National Systems of Innovation. Towards a Theory of Innovation and Interactive Learning. London: Pinter Publishers. S. 1-19.
- Malanowski, Norbert. 2001. Innovations- und Technikanalyse Nanotechnologie. Düsseldorf: VDI-Technologiezentrum.
- Owen-Smith, Jason und Walter W. Powell. 2004. Knowledge Networks as Channels and Conduits: The Effects of Spillovers in the Boston Biotechnology Community. In: Organisational Science, Vol. 15 (1), S. 5-21.
- Paschen, Herbert u.a. 2003. TA-Projekt Nanotechnologie. Endbericht. Berlin: Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag.
- Powell, Walter W. 1990. Neither Market nor Hierarchy: Network Forms of Organization. In: Research in Organizational Behaviour Vol. 12, S. 295-336.
- Powell, Walter W. 1996. Trust-Based Forms of Governance. In: Kramer, Roderick M. (Hrsg.). Trust in Organizations: Frontiers of Theory and Research. Thousand Oaks u.a.: Sage Publikationen. S. 51-67.
- Powell, Walter W., Kenneth W. Koput und Laurel Smith-Doerr. 1996. Interorganizational Collaboration and the Locus of Innovation: Networks of Learning in Biotechnology. In: Administrative Science Quarterly 41, S. 116-145.
- Rammert, Werner. 1993. Technik aus soziologischer Perspektive. Opladen: Westdeutscher Verlag.
- Rammert, Werner. 1997. Innovation im Netz. In: Soziale Welt 48, S. 397-415.
- Rammert, Werner. 2000. Technik aus soziologischer Perspektive 2. Opladen: Westdeutscher Verlag.
- Rammert, Werner. 2001. The Cultural Shaping of Technologies and the Politics of Technodiversity. In: Sörensen, K und R. Williams (Hrsg.). 2002. Shaping Technology, Guiding Policy. Cheltenham: Edward Elgar. S. 173-194.
- Rieke, Volker und Gerd Bachmann. 2004. Nanotechnologie erobert Märkte. Deutsche Zukunftsoffensive für Nanotechnologie. Bonn, Berlin: BMBF.
- Schepphach, Joseph. 2002. Die Wunderwelt der winzigen Giganten. In: P.M. Magazin 10/2002.
- Schirmacher, Frank (Hrsg.). 2001. Die Darwin AG. Wie Nanotechnologie, Biotechnologie und Computer den neuen Menschen träumen. Köln: Kiepenheuer & Witsch. S. 175-221.
- Schulenburg, Mathias. 2003. Erkundungen in der Nanowelt. In: Aus Politik und Zeitgeschichte. B42/2003. S. 26-34.

- Schumpeter, Joseph A. 1972³. Der Prozess der schöpferischen Zerstörung. In: Ders. Kapitalismus, Sozialismus und Demokratie. München: Francke Verlag. S. 134-142.
- Smalley, Richard E. 2001. In: Spektrum der Wissenschaft Spezial. Nanotechnologie. 2/2001, S. 66/67.
- Stahl-Rolf, Silke, Ocke Hamann und Bernhard Hausberg. 2004. Kompetenz mobilisieren – Ein Leitfaden für Initiatoren und Manager von Kompetenznetzen. VDI Technologiezentrum GmbH.
- Stix, Gary. 2001. Geschäfte im Reich der Zwerge. In: Spektrum der Wissenschaft Spezial. Nanotechnologie. 2/2001, S. 6-13.
- Sydow, Jörg und Arnold Windeler. 1999. Steuerung von und in Netzwerken – Perspektiven, Konzepte, vor allem aber offene Fragen. In: Sydow, Jörg und Arnold Windeler (Hrsg.). Steuerung von Netzwerken. Konzepte und Praktiken. Opladen/Wiesbaden: Westdeutscher Verlag.
- Tushman, Michael L. and Lori Rosenkopf. 1992. Organizational Determinants of Technological Change: Toward a Sociology of Technological Evolution. In: Research in Organizational Behaviour, Vol. 14, S. 311-347.
- Van de Ven, Andrew H. und Raghu Garud. 1994. The Coevolution of Technical and Institutional Events in the Development of an Innovation. In: Baum, Joel A. C. und Jitendra V. Singh (Hrsg.). Evolutionary Dynamics of Organizations. New York, Oxford: Oxford University Press. S. 425-443.
- Wenger, Etienne. 1998. Communities of Practice: Learning, Meaning, and Identity. Cambridge: Cambridge University Press.
- Weyer, Johannes u.a. 1997. Technik, die Gesellschaft schafft. Berlin: Edition Sigma.
- Weyer, Johannes. 2000. Einleitung. Zum Stand der Netzwerkforschung in den Sozialwissenschaften. In: Ders. (Hrsg.) Soziale Netzwerke. München: Oldenbourg.
- Zapf, Wolfgang. 1989. Über soziale Innovationen. In: Soziale Welt 40, S. 170-183.